

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL

BRUNO ERICK FUCHS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CÁLCULO  
AUTOMATIZADO PARA PROJETOS EM DRENAGEM  
URBANA**

FLORIANÓPOLIS  
2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E  
AMBIENTAL

BRUNO ERICK FUCHS

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CÁLCULO  
AUTOMATIZADO PARA PROJETOS EM DRENAGEM  
URBANA**

Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientador: Professor Dr. Cesar Augusto Pompêo.

FLORIANÓPOLIS  
2011

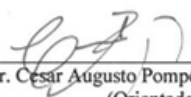
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CÁLCULO AUTOMATIZADO PARA  
PROJETOS EM DRENAGEM URBANA

BRUNO ERICK FUCHS

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Sanitária e Ambiental –TCC II

BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. Cesar Augusto Pompêo  
(Orientador)

  
Profa. Dra. Alexandra Rodrigues Finotti  
(Membro da Banca)

  
Prof. Dr. Roberto Valmir da Silva  
(Membro da Banca)

FLORIANÓPOLIS, (SC)  
DEZEMBRO/2011

## **Agradecimentos**

A Deus, por permitir que meu caminho chegasse até aqui.

A meus pais Germano Fuchs e Marilea Benvenuti Fuchs pelo apoio incondicional e pela confiança demonstrada durante minha trajetória.

A Prof. Dr. Cesar Augusto Pompêo pelos conselhos imensamente produtivos.

A Alana Lacava pela paciência, amor e ajuda durante os dias e madrugadas.

A meus amigos que agreguei durante o tempo de graduação.

"A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original."  
Albert Einstein

## **Resumo**

Na sociedade atual cada vez mais nos deparamos com inundações em áreas urbanas, entretanto os sistemas de drenagem urbana são concebidos para minimizar e/ou impedir inundações. Um segmento importante da drenagem urbana é a microdrenagem, a qual atua localmente dentro da bacia hidrográfica. Na elaboração de projetos de microdrenagem várias variáveis devem ser inseridas, calculadas e analisadas, sendo que os processos de cálculo podem ser automatizados, a fim de facilitar a elaboração do projeto e evitar erros. O presente trabalho visou à criação de um sistema de cálculo automatizado para elaboração de projetos de microdrenagem, através de planilhas eletrônicas e um manual para a mesma. O sistema de cálculo concebido com auxílio de planilhas eletrônicas foi construído em partes, com utilização de comandos de programação, sendo que foram realizados testes contínuos para detectar erros. A planilha foi construída da forma que facilita a comunicação com o usuário, através de cores, títulos, alertas e formatação condicional. O manual explica cada elemento da planilha, além de ensinar como utilizá-la e traz exemplos de projetos realizados no software. No documento a seguir também serão apresentados conceitos, aspectos técnicos, questões de projeto e critérios de projeto que foram utilizados como base para a criação do software de sistema de cálculo.

## **Abstract**

Today's society is increasingly faced with flooding in urban areas, however urban drainage systems are designed to minimize and / or prevent flooding. An important segment of the urban drainage is micro drainage, which acts locally within the watershed. In the drafting of microdrainage projects, several variables must be entered, calculated and analyzed, and the calculation processes can be automated in order to facilitate the preparation of projects and avoid mistakes. This study aims to create an automatized calculation system for the preparation of micro drainage projects, through electronic spreadsheets and a manual for it. The calculation system designed with the aid of electronic spreadsheets was built in parts, using programming commands, and continuous tests were performed to detect errors. The electronic spreadsheet was constructed in a way that facilitates communication with the user, through colors, titles, alerts, and conditional formatting. The manual explains each element of the spreadsheet, taught how to use it and provides examples of projects carried out in the model. In the following document will also be presented concepts, technical aspects, design issues and design criteria that were used as the basis for creating the calculation system model.

## Sumário

1.	Introdução .....	11
2.	Objetivos .....	12
2.1.	Objetivo Geral .....	12
2.2.	Objetivos Específicos .....	12
3.	Revisão Bibliográfica.....	12
3.1.	Drenagem Urbana.....	12
3.2.	Microdrenagem.....	13
3.3.	Macro drenagem.....	13
3.4.	Conceitos .....	14
3.4.1.	Precipitação .....	14
3.4.2.	Escoamento Superficial.....	14
3.4.3.	Tempo de Concentração.....	15
3.4.4.	Período de Retorno.....	15
3.4.5.	Tempo de entrada.....	16
3.5.	Aspectos Técnicos .....	16
3.5.1.	Estimativa de descarga de Pico .....	16
3.5.2.	Avaliação da capacidade admissível de uma sarjeta: fórmula de Izzard .....	17
3.5.3.	Fatores de redução da capacidade de sarjetas.....	18
3.5.4.	Dimensionamento hidráulico de galerias: fórmula de Manning	20
3.5.5.	Diagrama Unifilar .....	21
3.5.6.	Critério de Dimensionamento .....	23
3.6.	Questões de Projeto - Parâmetros e valores.....	23
3.6.1.	Diâmetros Comerciais das Galerias .....	23



3.6.2.	Lâmina d'água admissível em sarjetas.....	24
3.6.3.	Profundidade Mínima da Galeria .....	24
3.6.4.	Vazão Admissível no Trecho .....	24
3.6.5.	Tempo de Entrada .....	24
3.7.	Critérios de Projeto - Limites adotados .....	24
3.7.1.	Limites de Velocidade em sarjetas e galerias (inferior e superior) 24	
3.7.2.	Limite Mínimo de Declividade de uma Galeria .....	25
3.7.3.	Recobrimento da Galeria.....	25
3.7.4.	Procedimentos de Projeto.....	25
4.	Metodologia.....	27
5.	Resultados.....	29
5.1.	Construtor de Diagrama Unifilar .....	29
5.2.	Manual do UFSC Urban Drainage 1.0 .....	31
5.3.	Informações Gerais.....	31
5.3.1.	Compatibilidade .....	31
5.3.2.	Recomendações de uso.....	31
5.3.3.	Limitações/Restrições de Uso .....	31
5.3.4.	Recomendações Gerais .....	31
5.3.5.	Abas da Planilha Automatizada .....	32
5.4.	Operação do software .....	33
5.4.1.	Descrição do diagrama unifilar .....	33
5.4.2.	Descrição do diagrama unifilar alterado para uso no software 37	
5.4.3.	Tipos de células.....	41
5.4.4.	Utilização da Planilha Automatizada .....	43
5.5.	Aplicação do software .....	51

5.5.1.	Exemplo 1 (Trecho com galeria).....	51
5.5.2.	Exemplo 2 (Trecho sem galeria) .....	55
5.5.3.	Exemplo 3 (Trecho com galeria, três trechos convergindo para em um nó) .....	59
5.5.4.	Exemplo 4 (Trecho com nó cego) .....	64
5.6.	Resultados Obtidos pelo Software.....	67
5.6.1.	Projeto Exemplo.....	67
5.6.2.	Projeto Exemplo 2.....	70
6.	Conclusão.....	72
	Referências Bibliográficas .....	74

## 1. Introdução

Na sociedade em que vivemos, cada vez mais somos assolados por cheias e inundações no meio urbano, as quais causam grandes prejuízos à saúde pública, prejuízos econômicos e nos expõem a riscos. Analisando este panorama, surge uma pergunta, existe algo que possa ser feito a fim de evitar tais eventos críticos?

A resposta é sim. Uma das possíveis soluções são os sistemas de drenagem urbana, os quais são concebidos para evitar e/ou minimizar cheias e inundações, sendo dessa forma essenciais para evitar riscos e aumentar a qualidade de vida da população. A drenagem urbana basicamente é composta por dois elementos fundamentais, a macrodrenagem e a microdrenagem, com a macrodrenagem atuando na escala da bacia hidrográfica e a microdrenagem, localmente, em um loteamento.

Os sistemas de microdrenagem através de soluções locais como coleta e transporte das águas pluviais até o sistema de macrodrenagem, têm repercussão global no sistema. Cada sistema de microdrenagem atua isoladamente dos outros, porém o conjunto dos vários sistemas de microdrenagem de uma rede urbana forma as principais vias de escoamento das águas de chuva numa cidade. Sabendo-se da importância do sistema de microdrenagem, este deve ser planejado e projetado a fim de cumprir as expectativas. Quando os sistemas de microdrenagem são incorretamente projetados podem intensificar os efeitos de cheias e inundações, criando assim um problema ao invés de uma solução.

Os projetos de microdrenagem devem ser fundamentados no conceito do escoamento lento das águas de chuva, a fim de prolongar o tempo de permanência dessas águas no sistema de drenagem urbana, de modo a evitar pontos de concentração das mesmas à jusante, os quais causam inundações e aumento da vazão de pico da bacia. Muitos projetos de microdrenagem são elaborados manualmente ou em planilhas sem automação de processos, o que pode levar a erros e/ou acarretar um maior tempo para elaboração quando comparados a processos de cálculo automatizado. Deste modo, a correta automação de planilhas eletrônicas para projetos de microdrenagem é essencial a fim de facilitar a elaboração dos mesmos, tendo como consequência final, o auxílio no projeto de engenharia.

Como justificativa temos que projetos de microdrenagem quando corretamente elaborados são pequenas peças que interligadas funcionam

como um mecanismo que evita inundações locais e globalmente, sendo assim esses projetos são essenciais a fim de evitar prejuízos à sociedade e aumentar a qualidade de vida da mesma.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Geral**

O presente TCC tem por objetivo geral desenvolver um sistema de cálculo automatizado, com auxílio de planilhas eletrônicas, a fim de facilitar a elaboração de projetos de microdrenagem.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Seus objetivos específicos são:

- Definir um processo de cálculo para dimensionamento de sistemas de microdrenagem, a partir da construção de um diagrama unifilar;
- Criar um construtor de diagrama unifilar para sistemas de microdrenagem, auxiliando a concepção inicial do sistema;
- Criar uma planilha eletrônica automatizada capaz de realizar cálculos de dimensionamento em sistemas de microdrenagem;
- Elaborar um manual para utilização da planilha.

## **3. Revisão Bibliográfica**

### **3.1. Drenagem Urbana**

Drenagem urbana consiste em medidas estruturais e não estruturais que visam a atenuação dos riscos e dos prejuízos decorrentes de inundações, aos quais a sociedade está sujeita. Medidas estruturais são aquelas que empregam o uso de obras de drenagem e medidas não estruturais são ações que previnem e minimizam as consequências dos alagamentos, como planos de emergência, delimitação de áreas de risco, educação ambiental, entre outros.

A infra-estrutura do sistema de drenagem urbana é composta por dois sistemas distintos, o sistema de Microdrenagem e o sistema de Macrodrenagem, os quais devem ser planejados e projetados de forma diferenciada (Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo, 1999). O conceito atual e fundamental para projetos de drenagem urbana deve ser escoar as águas lentamente, a fim

de evitar o aumento da vazão máxima, a frequência e o nível de inundação de jusante (Tucci e Bertoni, 2003).

Os benefícios dos projetos de drenagem urbana realizados com qualidade são indiscutíveis, como exemplo geral, o aumento da qualidade de vida da população, uma vez que diminui a frequência e o nível das inundações, o risco de doenças de veiculação hídrica, de mortes por afogamentos e prejuízos econômicos.

### **3.2. Microdrenagem**

Este elemento da drenagem urbana chamado de Microdrenagem pode ser considerado sua base, pois é composto pelos sistemas que primeiramente recebem as águas de chuva na rede urbana. Esses sistemas iniciais de captura e transporte das águas de chuvas são compostos pelos pavimentos das vias públicas, meio-fios, sarjetas, sarjetões, bocas de lobo, rede de galerias de águas pluviais, poços de visita, canais de pequenas dimensões e também por condutos forçados e estações de bombeamento quando necessário.

Os sistemas de microdrenagem atuam a nível de loteamento e segundo as Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo (1999) são dimensionados para o escoamento de vazões de 2 a 10 anos de período de retorno, atendendo assim a drenagem de precipitações com risco moderado (Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre, 2005).

Quando sistemas de microdrenagem são bem projetados e recebem a manutenção devida, as dificuldades e as paralisações das atividades urbanas, devido às interferências de enxurradas e inundações, conseguem ser minimizadas consideravelmente.

### **3.3. Macrodrenagem**

Segundo as Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo (1999), a Macrodrenagem envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem e medidas estruturais relativas aos cursos d'água, incluindo não só o dimensionamento de canais e galerias, singularidades e estruturas de dissipação de energia, mas também, obras de retenção e retenção do escoamento superficial direto.

O Sistema de Macrodrenagem é projetado para vazões de 25 a 100 anos de período de retorno e com capacidade superior ao de

microdrenagem, com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais (Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre, 2005).

Os sistemas de macrodrenagem são dimensionados para eventos mais críticos que os sistemas de microdrenagem, entretanto estes primeiros devem funcionar em conjunto com os sistemas de microdrenagem, pois os mesmos podem retardar as águas de chuva, criando assim, uma relação de complementaridade. Como visto anteriormente, a macrodrenagem é essencial para evitar inundações em cidades urbanizadas, sendo ela uma medida estrutural dispendiosa e que deve ser precedida por bons sistemas de microdrenagem, a fim de se obter uma eficiência adequada.

### **3.4. Conceitos**

Os conceitos apresentados abaixo formam a base para o software, sendo que dessa forma, a compreensão dos mesmos é um elemento essencial para o correto entendimento do software.

#### **3.4.1. Precipitação**

Entende-se por precipitação a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre de qualquer forma, como chuva, granizo, orvalho, neve ou geada (Nelson et al., 2003).

No contexto da drenagem urbana, a principal forma de precipitação é a pluvial, a qual é a proveniente das águas de chuva. Isto acontece, pois a precipitação pluvial poderá ou não gerar escoamento superficial, o qual é objeto de estudo da drenagem urbana.

#### **3.4.2. Escoamento Superficial**

Segundo as Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo (1999), o escoamento superficial direto (ESD) é a parcela da chuva total que escoia inicialmente pela superfície do solo, concentrando-se em enxurradas e posteriormente em cursos de água maiores e mais bem definidos. O escoamento superficial direto é o maior responsável pelas vazões de cheia, principalmente em bacias pequenas e urbanizadas.

O escoamento superficial é de grande importância para a drenagem urbana, uma vez que seu deslocamento sobre a superfície

causa efeitos, como enxurradas e inundações, sendo a proteção contra esses efeitos a base da drenagem urbana.

### **3.4.3. Tempo de Concentração**

Tempo de concentração, segundo Righetto (1998), corresponde ao tempo necessário para que as últimas partículas de chuva precipitadas no ponto mais distante da bacia e que não se infiltraram alcancem a seção na qual está sendo levantado o hidrograma.

O mesmo autor ainda esclarece que na simplificação do método racional para estudos de pequenas áreas de drenagem, onde se interessa saber a vazão de projeto referente a um determinado período de retorno e uma dada chuva de projeto de duração crítica, conceitua-se o tempo de concentração,  $t_c$ , igual à duração da chuva crítica na bacia.

O tempo de concentração,  $t_c$ , ainda pode ser definido como a soma do tempo necessário para a formação da lâmina d'água nos terrenos e canais,  $t_o$ , e dos maiores tempos de percurso d'água sobre terreno,  $t_t$ , e canais,  $t_{ca}$ , resultando na equação 1 abaixo: (Righetto, 1998)

$$t_c = t_o + t_t + t_{ca} \quad (1)$$

Segundo as Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo (1999), em áreas urbanas, o tempo de concentração ainda pode ser dividido em duas parcelas: um tempo inicial  $t_i$ , tempo para chuva atingir a primeira boca de lobo ou sarjeta, e um tempo  $t_t$  de translação na rede de drenagem (sarjetas, galerias, canais, etc.).

### **3.4.4. Período de Retorno**

Em sistemas de drenagem é necessário saber a probabilidade com que determinado fenômeno pluviométrico ocorra para estimar a intensidade máxima do mesmo. Desta forma, o tempo de retorno é definido como o inverso disto ou o intervalo médio de tempo na qual o fenômeno poderá ocorrer. Qualquer alteração do tempo de retorno, implica diretamente na alteração do dimensionamento do projeto.

Tanto o valor do tempo de retorno como do coeficiente de deflúvio devem ser analisados a balancear segurança e custos

econômicos, pois alteram diretamente o dimensionamento dos sistemas de drenagem.

#### **3.4.5. Tempo de entrada**

É o tempo que as contribuições superficiais demoram a atingir a seção inicial de projeto, a qual pode ser, por exemplo, uma sarjeta ou uma boca de lobo.

### **3.5. Aspectos Técnicos**

#### **3.5.1. Estimativa de descarga de Pico**

##### **3.5.1.1. Método Racional**

A vazão de projeto (Q) em m<sup>3</sup>/s ou descarga de Pico é obtida através do método racional (2) aplicado na área de drenagem (A) em Km<sup>2</sup>, a qual necessita do coeficiente de deflúvio da bacia (C) e intensidade da chuva em mm/h (i).

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} \quad (2)$$

O método racional considera que *a duração da chuva de projeto de intensidade i é igual ao tempo de concentração da bacia em estudo*, assim como que o evento de precipitação que ocorre em uma bacia hidrográfica seja constante e uniforme sobre toda sua extensão, considerando também que as características de cobertura da superfície (taxas de infiltração e condições de permeabilidade) não sofrem variações durante a ocorrência da chuva, sendo que essas características influenciam diretamente o escoamento superficial através do coeficiente de deflúvio.

##### **3.5.1.2. Equação de Chuvas Intensas (intensidade, duração e frequência)**

A principal forma de caracterização de chuvas intensas é por meio da equação de intensidade, duração e frequência da precipitação, representada por:

$$i = \frac{K \cdot T^h}{(t+t_0)^f} \quad (3)$$



em que:

i - intensidade máxima média de precipitação, mm h<sup>-1</sup>

T - período de retorno, anos

t - duração da precipitação, min

K, h, to, f - parâmetros relativos à localidade

### 3.5.1.3. Coeficiente de deflúvio

O coeficiente de deflúvio indica o quão urbanizado é a área analisada, sendo menor quanto mais preservada e maior quanto mais ocupada. Este coeficiente é a razão entre o volume de água escoado superficialmente na bacia e o volume de água precipitada na bacia, variando de 0 (zero) para uma bacia totalmente permeável e 1 (um) para uma bacia totalmente impermeável.

Para se obter a vazão no exutório da área de drenagem através do método racional ocasionada por uma chuva, é necessário estimar o valor ponderado do coeficiente de deflúvio das áreas contribuintes.

### 3.5.2. Avaliação da capacidade admissível de uma sarjeta: fórmula de Izzard

O escoamento superficial das áreas de drenagem é realizado inicialmente pelas sarjetas que são dimensionadas conforme critérios que evitem o alagamento das ruas, calçadas e erosão do pavimento. No entanto, há um limite de transporte ou inundação máxima, que varia segundo o tipo de via, conforme listado abaixo:

Via secundária	Até a crista da rua
Via principal	Preservar uma faixa de trânsito
Avenida	Preservar uma faixa nas duas direções
Via Expressa	Inundação somente da sarjeta.

Para este trabalho, para questões do dimensionamento da faixa de alagamento, serão considerados apenas os seguintes tipos de via: via secundária e via principal.

Definido o tipo de via, a vazão máxima admissível da sarjeta é calculada pela fórmula de Manning alterada com raio hidráulico Rh igual a altura do meio fio y que resulta na fórmula de Izzard (4):

$$Q = 0,375 y o^{\frac{8}{3}} \left( \frac{z}{n} \right) \sqrt{I} \quad (4)$$

Esquemáticamente o corte transversal da sarjeta é apresentado na figura 1, onde  $W$  é a largura da sarjeta (m),  $L$  é a largura do escoamento (m),  $y_0$  é a altura da lâmina d'água,  $h$  altura do meio fio,  $z_0$  é a declividade transversal da sarjeta e  $z_1$  é a declividade transversal do pavimento.

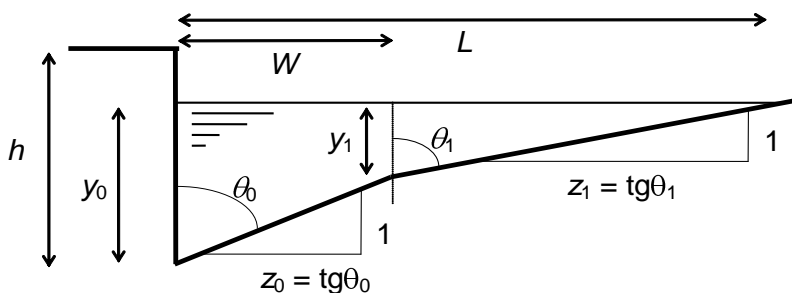


Figura 1: Corte transversal da sarjeta.

### 3.5.3. Fatores de redução da capacidade de sarjetas

A vazão calculada pela fórmula de Izzard, ainda necessita ser multiplicada por um fator de redução que é retirado do gráfico que referencia o fator de redução (FR) com a declividade da sarjeta em porcentagem (figura 2 e 3), isto acontece pois a vazão real é diminuída pelo acúmulo de sedimentos e para o caso de vazões elevadas, existe o risco de acidentes causado a pedestres.

Neste primeiro caso, o gráfico abaixo se refere a um trecho de via secundária que converge a uma via secundária.

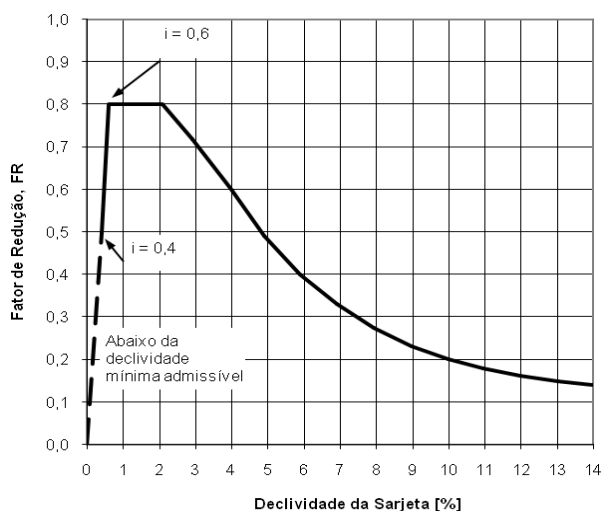


Figura 2: Relação Fator de Redução, Declividade

No segundo caso, o gráfico abaixo se refere a um trecho de via secundária que converge a uma via principal ou avenida.

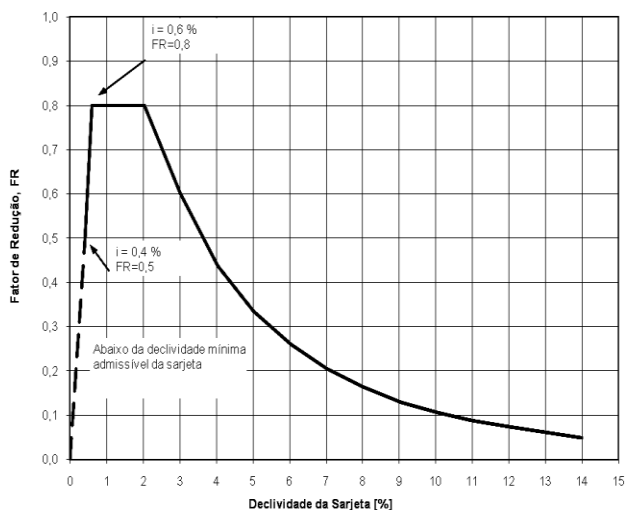


Figura 3: Relação Fator de Redução, Declividade

### 3.5.4. Dimensionamento hidráulico de galerias: fórmula de Manning

Com a descarga de pico estabelecida no exutório da área de drenagem ou nó, o dimensionamento das galerias é realizado através da fórmula de Manning (5)

$$\frac{n*Q}{\sqrt{I}} = ARh^{2/3} \quad (5)$$

Onde n é o coeficiente de rugosidade das paredes da galeria, I a declividade em m/m, Q a Vazão de Pico obtida pelo Método Racional e  $ARh^{2/3}$  área (m<sup>2</sup>) e raio hidráulico (m).

No dimensionamento hidráulico das galerias circulares se utilizou da fórmula de Manning-Strickler (6), uma vez que a fórmula é válida para escoamento permanente, premissa adotada para o dimensionamento das tubulações de drenagem urbana:

$$D = 1,55 * \left( \frac{n * Q}{\sqrt{I}} \right)^{3/8} \quad (6)$$

Onde: D = diâmetro em m; n = coeficiente de rugosidade; Q = vazão de pico em m<sup>3</sup>/s;

I = declividade da galeria em m/m.

Para o cálculo da velocidade nas galerias utiliza a fórmula de Manning-Strickler modificada (7):

$$V_{plena} = 0,397 * D^{2/3} * \sqrt{\frac{I}{n}} \quad (7)$$

Onde I é a declividade da tubulação (m/m), n é o coeficiente de rugosidade, D o diâmetro (m) e Vplena a velocidade para a seção plena em (m/s).

O tempo de percurso na galeria está relacionado por (8) onde L é o comprimento (m) e v a velocidade plena (m/s).

$$t_{percurso} = \frac{L/v}{60} \quad (8)$$

### 3.5.5. Diagrama Unifilar

É um elemento gráfico que demonstra a trajetória “teórica” de todas as águas de chuva que precipitam dentro da área de abrangência de um sistema de microdrenagem urbana, sendo o diagrama unifilar representada por nós (pontos) e trechos (linhas). O diagrama unifilar é o conceito elementar de estruturação do software, ou seja, todos os procedimentos de cálculo são realizados a partir da definição inicial deste diagrama.

O nó pode ser definido como um ponto no sistema de drenagem o qual é escolhido para análise do escoamento nas sarjetas ou galerias, já o trecho é definido como a ligação entre dois nós.

Dentro do diagrama unifilar podem existir os seguintes tipos de nós:

**Nó Inicial:** está situado próximo ao divisor de águas e não recebe qualquer descarga.

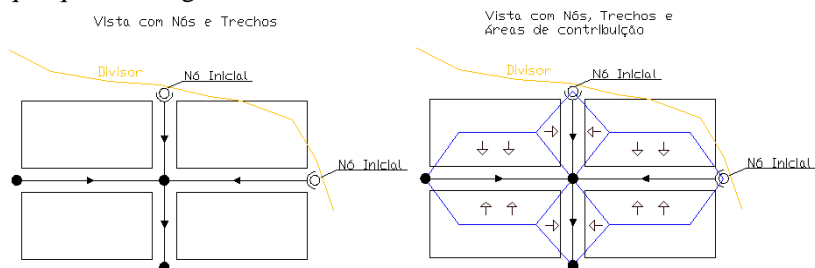


Figura 4: Representação do “Nó Inicial”

**Nó de Passagem:** recebe contribuições de montante e possui ligações com outros nós a jusante.

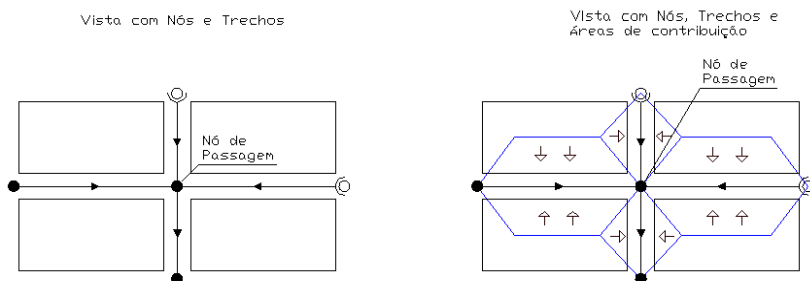


Figura 5: Representação do “Nó de Passagem”

**Nó Cego:** está num ponto baixo do sistema viário, não oferecendo condição de saída para o escoamento superficial por gravidade.

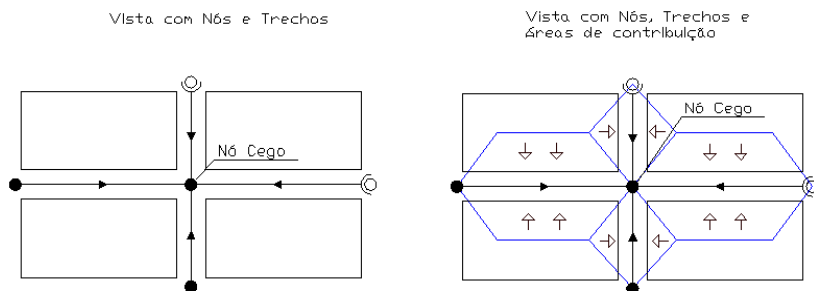


Figura 6: Representação do “Nó Cego”

**Nó Misto:** acontece quando um nó de passagem possui mais de uma ligação com nós de jusante, dessa forma a sua descarga se dará pelo trecho de maior declividade. Em relação aos outros, nós a jusante a ele conectados, serão considerado nós iniciais. Sendo assim, o nó misto possui o nó de passagem e o nó inicial.

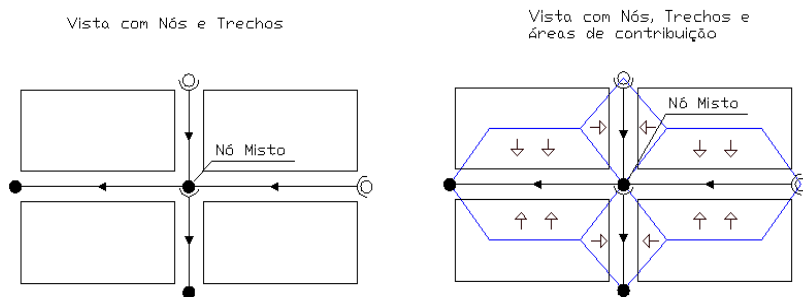


Figura 7: Representação do “Nó Misto”

Abaixo na figura 8 está ilustrada a criação de um diagrama unifilar utilizando os preceitos acima definidos. Pode ser visto também que o diagrama unifilar foi criado a partir de uma planta de um loteamento já com os nós e trechos definidos, exemplificando-se assim o método. Importante ressaltar, que o diagrama unifilar tem grande utilidade no estudo do escoamento das águas de chuvas num determinado espaço geográfico, sendo dessa forma um auxílio importante para o dimensionamento de sistemas de microdrenagem.

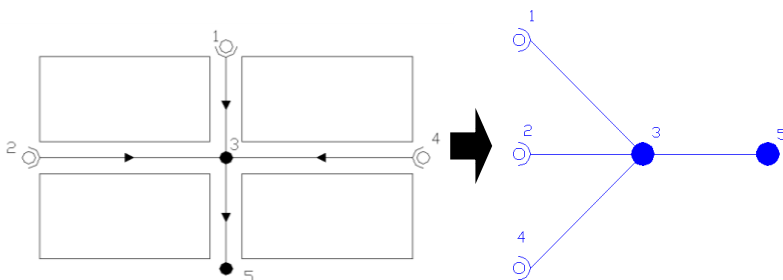


Figura 8: Trecho em planta sendo representado em Diagrama Unifilar

### 3.5.6. Critério de Dimensionamento

Na elaboração de projetos de drenagem urbana existem dois modelos básicos como critério de dimensionamento, o modelo de escoamento rápido e modelo de escoamento lento. O primeiro adota o princípio de que as águas devem ser conduzidas rapidamente para fora da área de drenagem, diminuindo ao máximo o tempo de concentração desta e os gastos com o projeto, visto que as galerias terão grandes velocidades e declividades, diminuindo o diâmetro necessário ao escoamento das águas. Como consequência desse primeiro modelo, temos que as inundações a jusante serão inevitáveis. O segundo, portanto é completamente o inverso ao primeiro, baseado no retardamento e armazenamento temporário das águas na bacia, evitando o risco de inundações a jusante. No entanto, são necessários diâmetros maiores no dimensionamento e consequentemente no custo do projeto.

Para este TCC será adotada a concepção do escoamento lento das águas de chuva.

## 3.6. Questões de Projeto - Parâmetros e valores

### 3.6.1. Diâmetros Comerciais das Galerias

As tubulações das galerias serão dimensionadas para diâmetros comerciais, os quais são: 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,80; 1,00; 1,20 e 1,50m. Dentre estes citados, o diâmetro mínimo adotado será de 400 mm, pois o mesmo proporciona uma menor taxa de entupimento do que a tubulação de diâmetro comercial que a precede, o tubo de 300 mm. Consequentemente a tubulação de 400 mm demanda menor manutenção e proporciona maior segurança do que a de 300 mm.

### **3.6.2. Lâmina d'água admissível em sarjetas**

Utilizou-se uma lâmina d'água admissível na sarjeta de 0,13 m.

### **3.6.3. Profundidade Mínima da Galeria**

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005), o recobrimento mínimo recomendado para geratriz superior da galeria é de 1,00 metros.

### **3.6.4. Vazão Admissível no Trecho**

Segundo o item 5.5.2 é estipulada a vazão admissível na sarjeta no trecho. Como em cada trecho as vias possuem duas sarjetas, uma de cada lado da via, compara-se a vazão que o trecho irá drenar com a vazão admissível na sarjeta dividida por dois, se primeira for superior a segunda, o trecho necessariamente precisará de galerias, porém se a situação for a inversa, com a vazão drenada sendo menor do que duas vezes a vazão admissível na sarjeta, então neste trecho o escoamento poderá acontecer pelas sarjetas.

### **3.6.5. Tempo de Entrada**

O mínimo tempo de concentração inicial ou o mínimo tempo de entrada adotado para este trabalho será de 5 minutos. Ressalta-se que o usuário poderá alterar o tempo de entrada globalmente, de acordo com a figura 31, ou localmente, de acordo com o item 7.3.4.2.

## **3.7. Critérios de Projeto - Limites adotados**

### **3.7.1. Limites de Velocidade em sarjetas e galerias (inferior e superior)**

As sarjetas terão declividades ajustadas para não causar deposição de sedimentos, no caso de velocidades baixas e erosão das paredes no caso de grandes velocidades. Portanto as velocidades deverão estar na faixa de 0,75 m/s e 3,50 m/s. A mesma consideração será realizada com as galerias, sendo que o Manual de Drenagem de Porto Alegre (2005) estabelece velocidades na faixa 0,80 m/s e 4,00 m/s.



Ressalta-se que o usuário poderá alterar os critérios globais de projeto, velocidade mínima e máxima da sarjeta e/ou da galeria, ao iniciar o projeto, de acordo com a figura 31.

### **3.7.2. Limite Mínimo de Declividade de uma Galeria**

A fim de respeitar os limites construtivos, a planilha de cálculo estipula um limite mínimo na declividade de 0,007 m/m.

Ressalta-se que o usuário poderá alterar o limite mínimo na declividade global de projeto ao iniciar o projeto, de acordo com a figura 31.

### **3.7.3. Recobrimento da Galeria**

No projeto as galerias devem possuir um recobrimento mínimo estipulado, a fim de evitar avarias, e um recobrimento máximo estipulado, a fim de serem tecnicamente e economicamente viáveis. O recobrimento mínimo da rede deve ser de 1 metro, enquanto o recobrimento máximo será de 4 metros.

Ressalta-se que o usuário poderá alterar o recobrimento mínimo e máximo global de projeto ao iniciar o projeto, de acordo com a figura 31.

### **3.7.4. Procedimentos de Projeto**

Os projetos de microdrenagem seguem uma sequência lógica de construção, sendo primeiramente necessário existir a construção do diagrama unifilar, depois obter, estimar e/ou adotar todos os dados e parâmetros necessários para os cálculos para posteriormente calcular trecho por trecho do diagrama unifilar. Quando todos os trechos estiverem calculados, constrói-se uma tabela com os parâmetros construtivos, a qual será utilizada em obra. Abaixo, na figura 9, temos um fluxograma com os procedimentos de projeto relativos a projetos de microdrenagem.

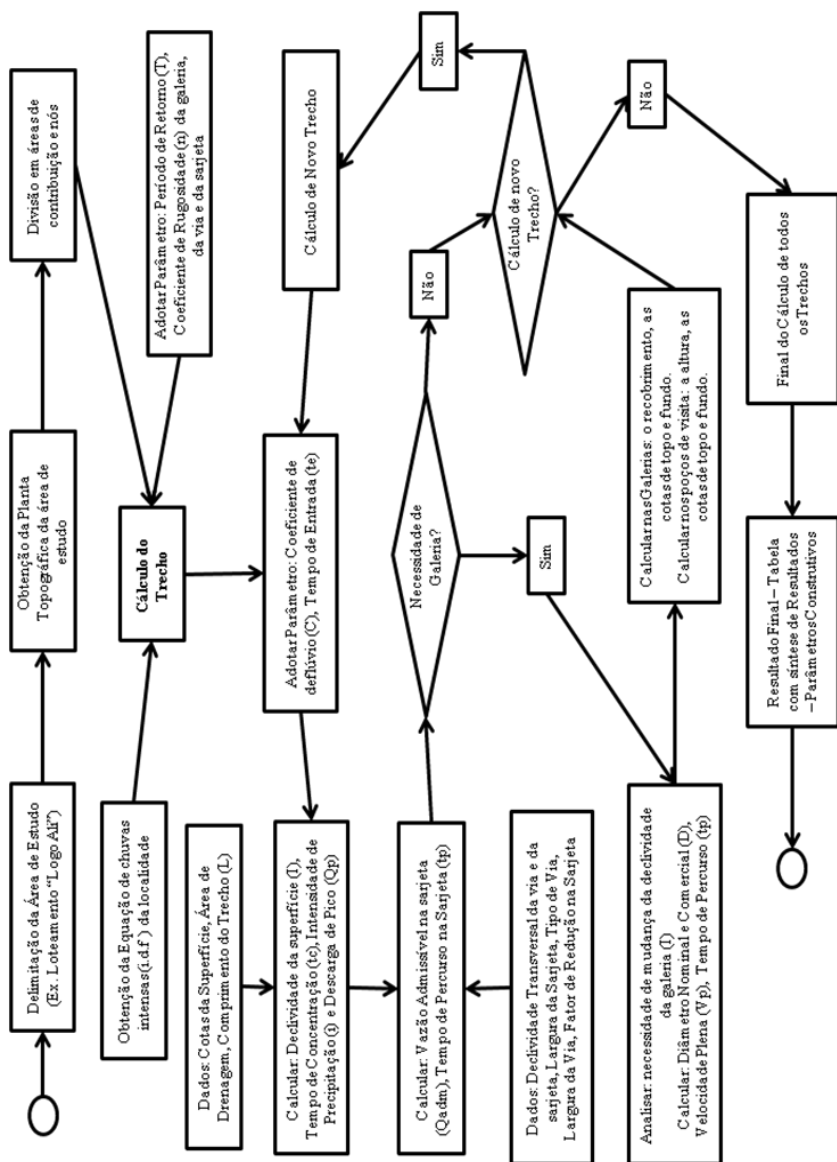


Figura 9 – Fluxograma de um Projeto de Microdrenagem

#### 4. Metodologia

A construção do software se baseou no conceito de diagrama unifilar, sendo que se utilizou da plataforma CAD para facilitar a construção gráfica do diagrama unifilar e de planilhas eletrônicas para realizar os cálculos e automações necessárias. A planilha eletrônica foi escolhida para a realização do software, pois a mesma é de fácil utilização e não requer conceitos profundos de programação.

Outro passo fundamental na construção do software foi analisar quais etapas do projeto de microdrenagem seriam automatizados. Com essa análise definiu-se que a construção do diagrama unifilar em CAD e no Excel seria feita pelo usuário, porém com uma interface que facilitaria a construção dos mesmos. Depois foi determinado que na etapa de cálculo o software montaria os trechos com locais indicados para inserção de dados, os quais deveriam ser inseridos pelo usuário. Depois dos dados inseridos, o software faria os cálculos e geraria os resultados para que posteriormente o usuário possa analisá-los e alterá-los de acordo com sua necessidade. Ao final do processo, definiu-se que a planilha montaria uma tabela de parâmetros construtivos automaticamente com os resultados previamente calculados. O resultado final da análise de responsabilidade entre o usuário e o software pode ser observado na figura 10 abaixo:

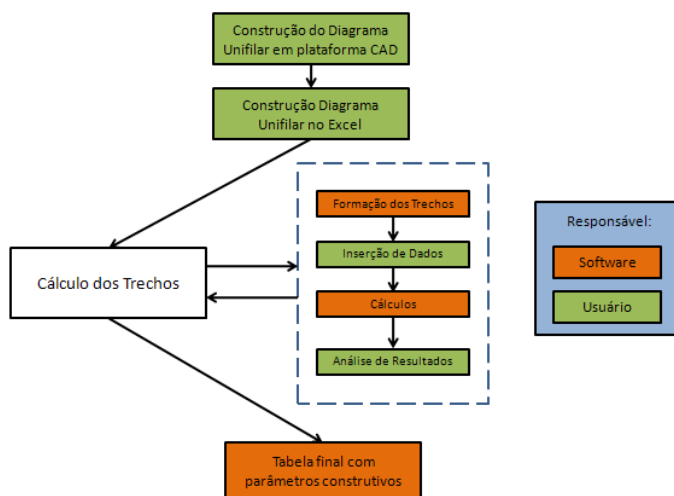


Figura 10 – Definição das funções Usuário/Software

A forma de construção da planilha automatizada se baseou pela repetição da seguinte rotina de trabalho:

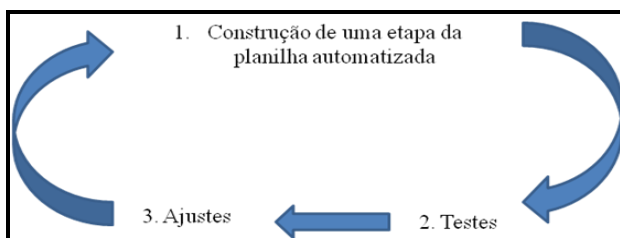


Figura 11 – Rotina de trabalho para construção da Planilha Automatizada

Na questão da construção de uma etapa da planilha automatizada, tentava-se introduzir alguma parte do processo de cálculo do projeto de microdrenagem, visto na figura 9, dentro da mesma. Nesta etapa o objetivo foi criar o máximo de automação possível na planilha, permitindo também o máximo de interferência do usuário na entrada de dados e na análise de resultados.

Na questão dos testes, se introduzia projetos de microdrenagem com os cálculos já realizados e revisados, buscando dessa forma que a planilha automatizada alcança-se os mesmos resultados anteriormente obtidos. Nesta etapa tentou-se introduzir a maior quantidade de projetos diversos, a fim de encontrar todas as possíveis falhas de programação ou de interface.

Na questão dos ajustes, todos os erros e falhas descobertos nas etapas anteriores eram primeiramente estudados teoricamente, buscando a melhor solução para eles, sempre com a preocupação de não criar novas falhas para posteriormente introduzir as mudanças na planilha. Dessa forma, nesta etapa consertavam-se todos os erros e realizavam-se pequenos testes, a fim de confirmar a solução dos problemas. No caso da constatação da não resolução do problema, o ciclo anteriormente citado se repetia, até a completa solução do problema.

Na construção da planilha automatizada foram utilizados alguns diferentes tipos de células:

- células para inserção de dados;
- células de apresentação de resultados parciais, as quais não podem ser modificadas;
- células de apresentação de resultados parciais, as quais devem ser analisadas pelo usuário e podem ser modificadas; e

- células de informação, as quais apresentam as outras células com informações básicas.

A planilha possui travamento em todas as células, excetuando-se somente as células com inserção de dados e as células que devem ser analisadas e podem ser modificadas.

Na construção da planilha automatizada foram utilizados alguns comandos de programação, os quais podem ser vistos abaixo:

- **SE:** verifica se uma condição foi satisfeita e retorna um valor se for “verdadeiro” e retorna outro valor se for “falso”. Retorna um valor se uma condição que você especificou avaliar como “verdadeiro” e outro valor se for avaliado como “falso”.

- **E:** verifica se os argumentos são “verdadeiros” e retorna “verdadeiro” se todos os argumentos forem “verdadeiro”.

- **OU:** verifica se algum argumento “verdadeiro” e retorna “verdadeiro” ou “falso”. Retorna “falso” somente se todos os argumentos forem “falso”.

- **MACRO:** ferramenta utilizada para automatizar processos repetitivos.

A interface da planilha automatizada foi elaborada pensando em comunicar-se efetivamente com o usuário, tentando mostrar a cada etapa o que está sendo realizado e o que deve ser feito. Para isso, a planilha foi feita com um jogo de cores e com informações invisíveis, as quais só aparecem quando são necessárias. Para este último recurso utilizou-se da formatação condicional. Além disso, existem informações dispostas convenientemente por toda a planilha, tentando indicar os procedimentos que devem ser realizados.

## **5. Resultados**

### **5.1. Construtor de Diagrama Unifilar**

Para construir qualquer diagrama unifilar a fim de ser utilizado na planilha do UFSC Urban Drainage 1.0, pode-se utilizar do Construtor de Diagrama Unifilar em plataforma CAD. Este construtor foi desenvolvido com todos os elementos aceitos pela planilha automatizada e com todos os elementos necessários para construção do diagrama unifilar, fato visto na figura 12 abaixo:

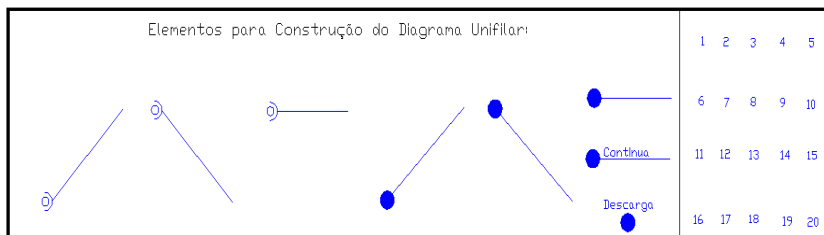


Figura 12 – Elementos para construção do Diagrama Unifilar em plataforma CAD

Para a construção do diagrama unifilar no Construtor de Diagrama Unifilar existe uma malha fixa com linhas e colunas numeradas, visto na figura 13 abaixo. Dentro dessa malha devem ser utilizados os elementos apresentados anteriormente a fim de montar o diagrama unifilar.

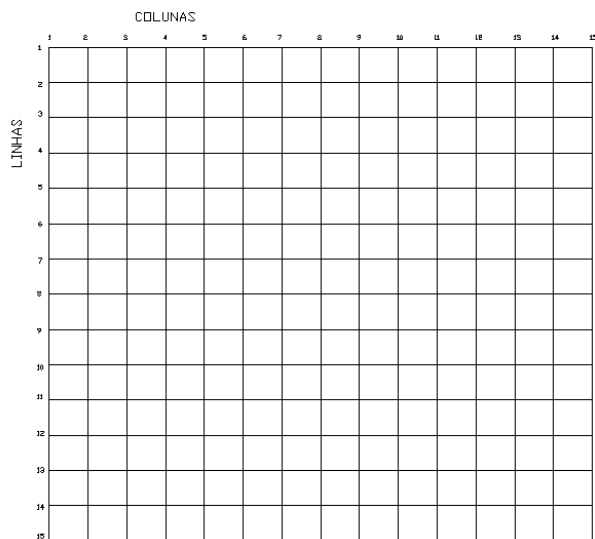


Figura 13 – Malha com linhas e colunas numeradas para construção do Diagrama Unifilar em plataforma CAD

Esse diagrama construído em plataforma CAD não será compreendido pela planilha automatizada, sendo somente um facilitador para construção gráfica do mesmo. Os procedimentos para que a

planilha automatizada entenda o diagrama unifilar serão explicados posteriormente.

## **5.2. Manual do UFSC Urban Drainage 1.0**

UFSC Urban Drainage 1.0 tem a função facilitar a elaboração de Projetos de Microdrenagem, auxiliando desde a construção do Diagrama Unifilar, passando por todas as etapas de Cálculo e Dimensionamento até a construção da Planilha Final com Parâmetros de Construtivos.

O UFSC Urban Drainage 1.0 pode ser utilizado tanto para fins didáticos quanto para fins práticos.

## **5.3. Informações Gerais**

### **5.3.1. Compatibilidade**

Microsoft Excel 2007 – Utilização do UFSC Urban Drainage 1.0

Plataforma CAD – Criação do Diagrama Unifilar

Microsoft Word 97-2003 ou superior – Visualização do Manual

### **5.3.2. Recomendações de uso**

Os projetos em que o software é recomendado para uso são aqueles que:

- utilizam apenas sarjetas e galerias;
- o diagrama unifilar abrange toda área de projeto.

### **5.3.3. Limitações/Restrições de Uso**

Nestas situações o software não está apto a ser utilizado:

- localidades sem equação de chuvas intensas;
- projetos que necessitem outros elementos além de sarjetas e galerias;
- diagrama unifilar de, no máximo, 15 linhas por 15 colunas (podendo ser expandido pelo autor, se necessário).

### **5.3.4. Recomendações Gerais**

a) UFSC Urban Drainage 1.0 deverá ser usado por usuários com bons conhecimentos em Drenagem Urbana, para a correta compreensão global do programa.

b) Para a planilha não perder a funcionalidade, é recomendável salvá-la para cada novo projeto com seu próprio nome, preservando assim o documento original.

c) Cada ramo do Diagrama Unifilar deve ter sua própria planilha, dessa forma para cada ramo do Diagrama unifilar devesse repetir a etapa b) acima citada.

d) Para o correto funcionamento da Planilha UFSC Urban Drainage 1.0 habilite o conteúdo da mesma. Para habilitação do conteúdo siga o caminho:

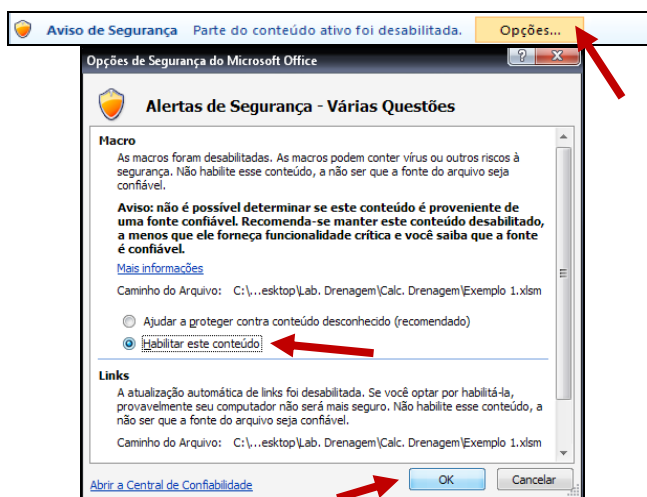


Figura 14 – Habilitando o Macro

### 5.3.5. Abas da Planilha Automatizada

As abas são encontradas na parte inferior da planilha. Existem 05 (cinco) abas com diferentes funções, citadas abaixo:

1. **Diagrama Unifilar:** esta aba deve ser utilizada para inserir o diagrama unifilar construído no construtor de diagrama unifilar. Posteriormente utiliza-se esta aba para construir o diagrama unifilar em planilha Excel, a fim que a rotina de programação identifique-o, fato que será explicado mais detalhadamente nas páginas a seguir, no item 5.4.2.2.



2. **Planilha de Cálculos:** é o cérebro do software. Esta aba é o local onde todos os dados devem ser inseridos e onde os resultados são mostrados para serem analisados pelo usuário.
3. **Gráfico F.R.:** são mostrados os gráficos de fator de redução da sarjeta. Esta aba é utilizada somente para fins de consulta.
4. **Resultados:** esta aba é a síntese dos resultados finais, nela é mostrada uma tabela com os parâmetros construtivos de projeto.
5. **Sobre:** nesta aba existem informações sobre o autor e orientador do referido projeto.

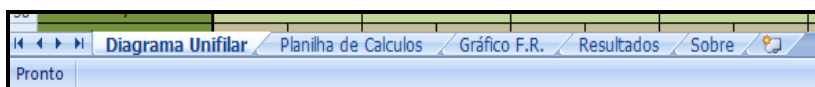


Figura 15 – Abas do software

## 5.4. Operação do software

### 5.4.1. Descrição do diagrama unifilar

A plataforma UFSC Urban Drainage funciona com base na estrutura do diagrama unifilar, sendo este o “cérebro” do software. Tendo esta importância, o diagrama unifilar deve seguir alguns preceitos básicos:

- Nós de montante para jusante (no software → esquerda para direita);
- Os nós não podem se sobrepor;
- Conexões somente a  $45^\circ$  ou  $0^\circ$ .

O exemplo abaixo mostra parte de um diagrama unifilar, seguindo os preceitos acima.

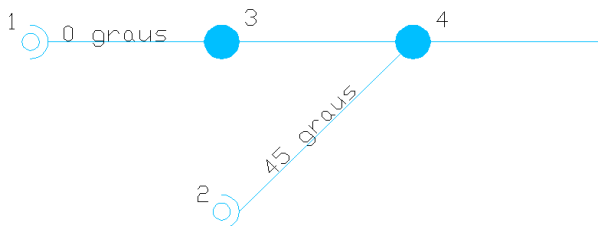


Figura 16 – Ligação entre nós

#### 5.4.1.1. Tipos de Nós Utilizados pelo UFSC Urban Drainage

Nó Inicial (i): não recebe contribuição de nenhum nó.

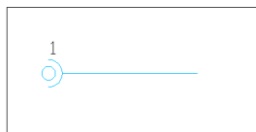


Figura 17 – Nó inicial

Nó Passagem (p): recebe contribuições de montante e possui ligações com outros nós a jusante.

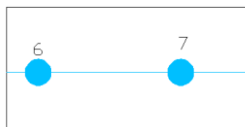


Figura 18 – Nó de passagem

Nó Continuação (c): tipo de nó exclusivo do programa, apenas copia as informações inseridas e calculadas do nó anterior. Ele é utilizado para alongar um trecho do diagrama unifilar, possibilitando assim a construção de qualquer diagrama unifilar sem que haja sobreposição de nós, estando assim de acordo com os preceitos básicos.

Este nó só aceita informações do nó a montante e a 0°, como exemplificado nas figuras 19 e 20 abaixo.

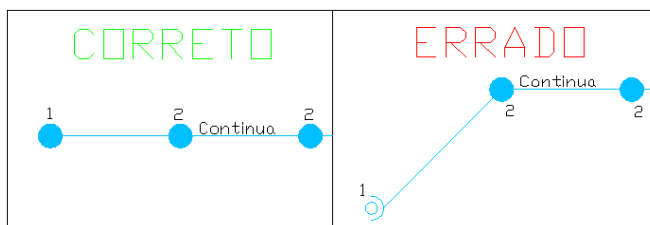


Figura 19 – Nó de continuação

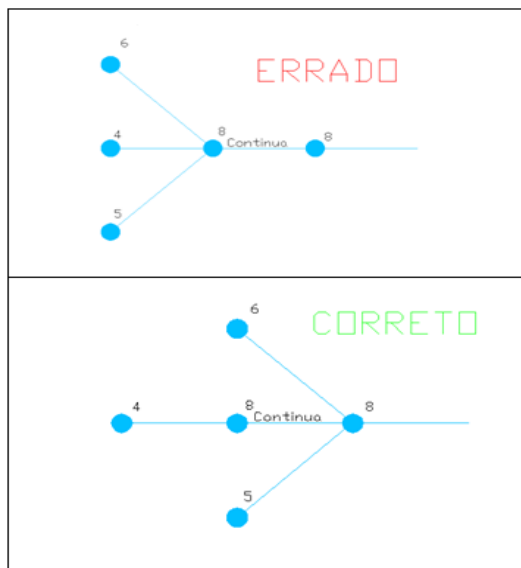


Figura 20 – Nó de continuação

Nó Descarga (d): É o último ponto do diagrama unifilar, o qual recebe todas as contribuições dos nós a montante.

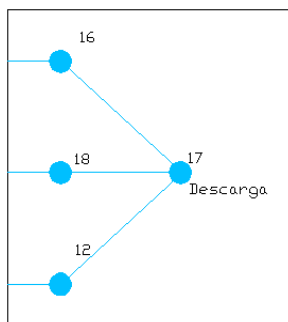


Figura 21 – Nó de descarga

O exemplo abaixo demonstra todos os nós citados acima num diagrama unifilar, seguindo os preceitos básicos do diagrama unifilar.

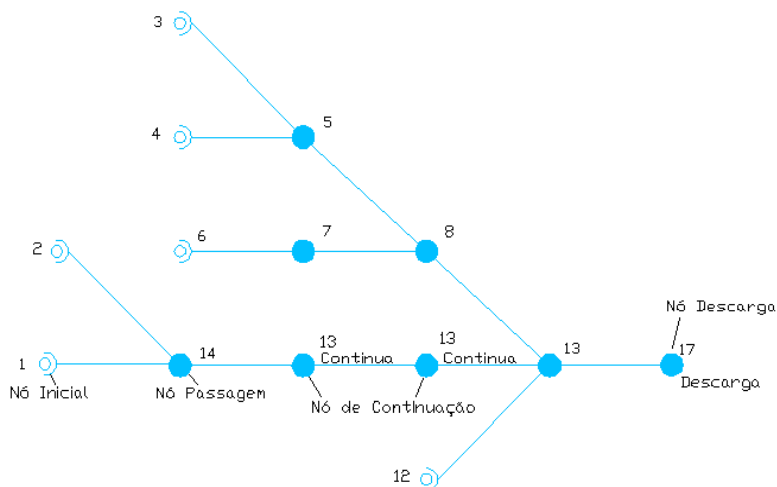


Figura 22 – Exemplo com todos os tipos de nós

#### 5.4.1.2. Conexões

As conexões entre os nós são automatizadas na planilha. Por exemplo, na figura 22 acima o nó 8 automaticamente saberá que receberá as informações do nó 5 e 7 e mais nenhum outro. Este preceito se aplica para todos os nós de passagem e descarga. O nó inicial não recebe contribuições, deste modo não possui conexões a montante, somente a jusante.

Já a exceção é o nó de continuação, o qual é um artifício usado pelo programa para alongar um trecho do diagrama unifilar, permitindo que qualquer diagrama unifilar seja construído na planilha. O nó continuação somente recebe as informações do nó a montante a 0°.

Por exemplo, na figura 22 acima, o nó de continuação 13 só pode receber informações do nó 14, e de nenhum outro mais, porque este se encontra a montante e a 0°. Entretanto, o nó 13 também recebe contribuições do nó 8 e do nó 12, sendo que esta conexão se dá ao final do nó continuação, quando este deixa de ser um nó continuação e passa a ser um nó de passagem. Esta situação pode ser vista ampliada na figura 23 abaixo, na qual estão assinalados os nós que contribuem para o nó 13 e por onde que essas informações estão fluindo, sendo indicado através de flechas.

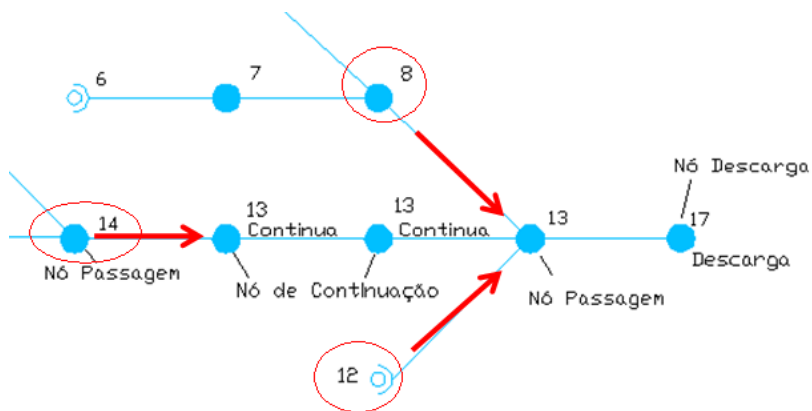


Figura 23 – Recorte de diagrama unifilar

#### 5.4.2. Descrição do diagrama unifilar alterado para uso no software

##### 5.4.2.1. Explicação das alterações

O diagrama unifilar para ser inserido e compreendido pelo software deve trabalhar em uma malha, com linhas e colunas numeradas. Deste modo, o software consegue compreender as interligações entre os nós e seus respectivos trechos. A malha está exemplificada abaixo:

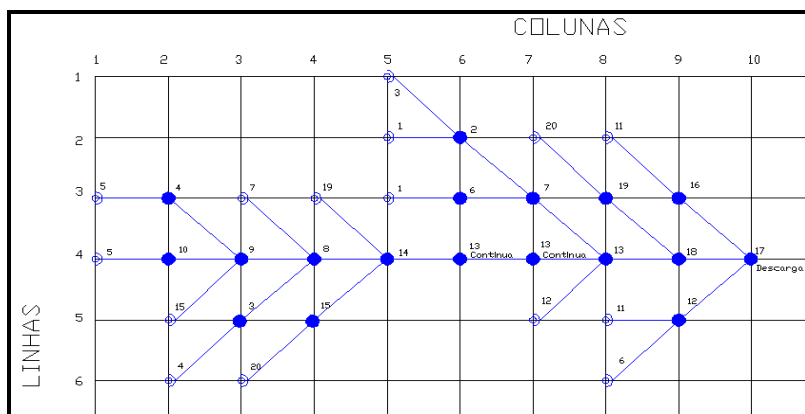


Figura 24 – Diagrama unifilar construído em malha com linhas e colunas numeradas

Com essa metodologia cada nó possui um endereço, por exemplo, o nó de passagem 10 encontra-se na linha 4 coluna 2. Já o nó de descarga 17 encontra-se na linha 4 coluna 10. Vemos que o nó inicial 5 encontra-se na linha 3 coluna 1, assim como na linha 4 coluna 1, fato perfeitamente normal na construção de um diagrama unifilar.

O que se quer demonstrar aqui é que o diagrama unifilar é construído em uma malha fixa com linhas e colunas numeradas, seguindo alguns preceitos básicos. Dessa forma, cada nó possuirá um endereço no diagrama unifilar.

#### 5.4.2.2. Diagrama Unifilar no Excel

Com o diagrama unifilar criado, deve-se inseri-lo no Excel, onde o software automaticamente identificará os trechos que devem ser criados para as etapas posteriores de dimensionamento.

*Como funciona?*

No Excel existe uma rede com linhas e colunas numeradas. Cada endereço (linha 1 coluna 1; linha 5 coluna 7, etc.) possuirá três espaços, que devem ser completos com:

- Tipo de Nó: Inicial (i), Passagem (p), Continuação (c) ou Descarga (d)
- Nó correspondente ao endereço: Nó a Montante do Trecho
- Nó posterior formador do trecho: Nó a Jusante do Trecho

Para compreensão, abaixo temos um exemplo de uma etapa (nó 1) da construção do diagrama unifilar no Excel:

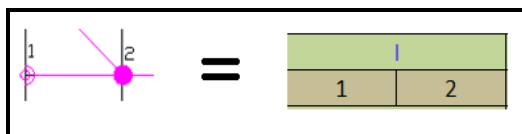


Figura 25 – Diagrama unifilar CAD/Excel

*Porque escrever o diagrama unifilar em planilha Excel?*

É necessário transcrever o diagrama unifilar para o Excel, pois é a única forma do software entender o diagrama unifilar, uma vez que esse não lê desenhos e/ou figuras.

Agora vamos acompanhar o exemplo abaixo e tentar entender como o software foi concebido para operar:

Primeiramente se cria o diagrama em plataforma CAD e posteriormente o passa para o Excel, obtendo:

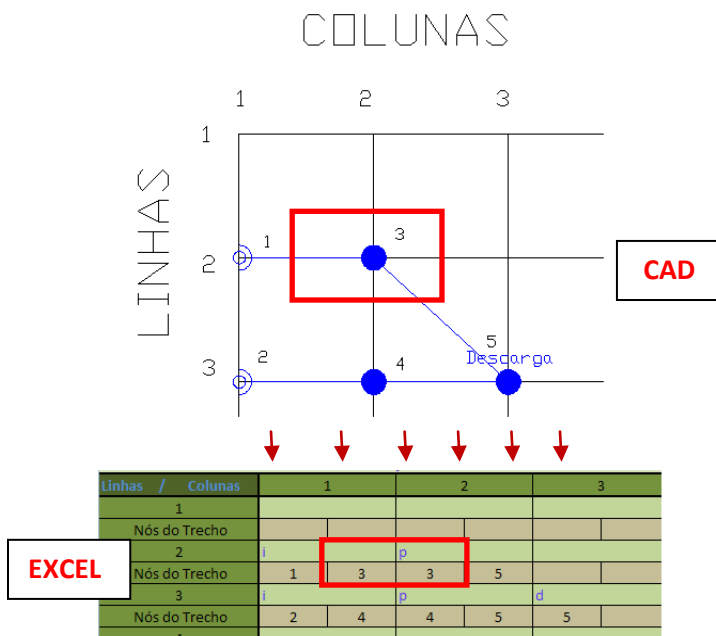


Figura 26 – Diagrama unifilar CAD/Excel

No endereço linha 2 coluna 1 (L2C1) está identificado:

- O tipo de nó = Nó Inicial (i)
- Nó a Montante = Endereço do Nó = Nó 1
- Nó a Jusante = Nó que forma o Trecho = Nó 3

Note que no endereço linha 2 coluna 2 o nó a montante é o nó 3, e que no endereço linha 2 coluna 1 o nó a jusante é o nó 3. Com isto, o software entende que o nó inicial 1 se liga com o nó de passagem 3, formando o trecho 1-3. Siga o raciocínio do software:

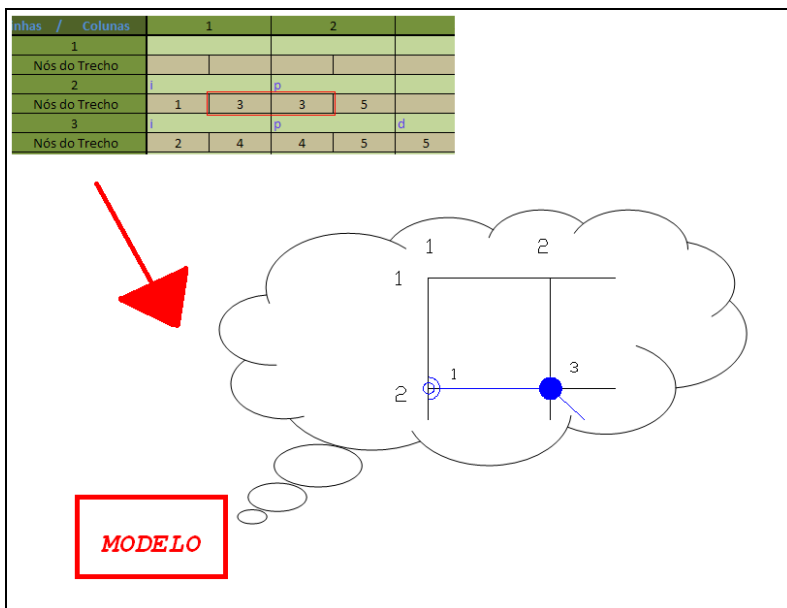


Figura 27 – Raciocínio do software

Agora que você compreendeu como o software raciocina, vamos exemplificar algo mais complexo, uma conexão de três trechos em apenas um. O exemplo abaixo mostra como o software compreende que existem três trechos (5-3;1-3;2-3) contribuindo para apenas um nó (nó 3).



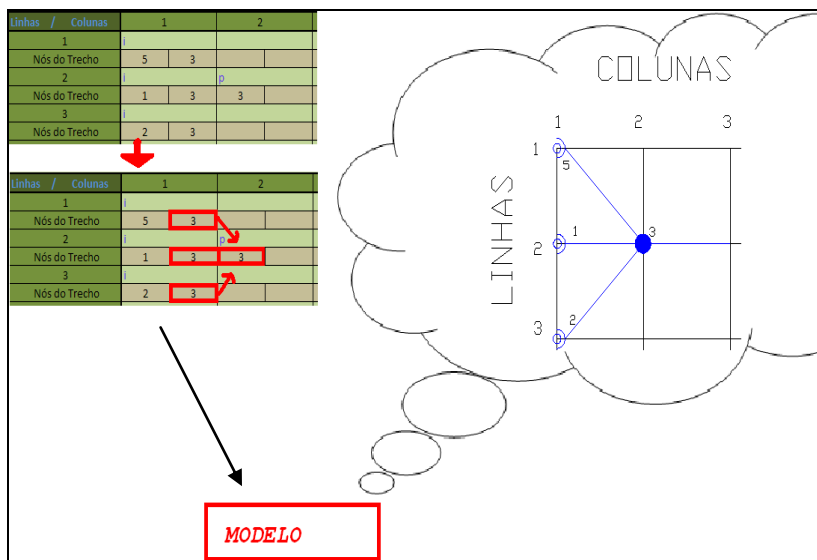


Figura 28 – Raciocínio do Software

### 5.4.3. Tipos de células

#### a. Células de entrada de dados

Células em cinza são dados básicos que o programa necessita para seus cálculos, como mostrado abaixo:

----->	2
Nó =	P
CT=	Insira Cota
A=	Insira Area Dren.
Te=	Insira Te
C=	Insira Coe. Defluvio

Figura 29 – Células de entrada de dados

#### b. Células nas quais se pode fazer alteração

Células em vermelho são calculadas pelo programa, porém o usuário deve analisá-los e pode usar seu conhecimento para modificar os resultados, caso ache necessário.

Isuper.=	0,075
Definir Gale.?	Não
Igaleria=	0,035
Dcalc.=	0,498
Dcomercial=	600

Figura 30 – Células de resultados que podem ser modificados

c. Células travadas

São as células em verde, elas dependem exclusivamente dos dados inseridos pelo usuário e não devem ser modificadas. Essas células mostram resultados de operações realizadas pelo software.

tc =	18,63
i=	62,46
ΣC.A=	0,022265
Qp=	0,386

Figura 31 – Células de resultados travadas

d. Células mostradoras de resultados de cálculos

São células em laranja, que possuem a única função de receber o resultado de uma operação acima. Esse resultado aparece em outra célula também, mas nessa célula pode ser alterada pelo usuário e perder assim sua funcionalidade, dessa forma as células em laranja recebem esse cálculo e não podem ser alteradas, não perdendo a funcionalidade original.

CTga 1a calculada=	Esperando Dados	
Esperando Dados	D=	Esperando Dados
Esperando Dados	CTga =	Esperando Dados
Recebem o mesmo resultado		

Figura 32 – Célula mostradora de resultado de cálculo

## 5.4.4. Utilização da Planilha Automatizada

### 5.4.4.1. Equação de chuvas intensas e parâmetros de projeto

Após construir o diagrama unifilar na planilha, deve-se inserir a equação de chuvas intensas e os parâmetros de projeto (período de retorno, coeficiente de rugosidade (da galeria), coeficiente de rugosidade da sarjeta, coeficiente de rugosidade da via), como mostrado abaixo:

**Dados do Projeto:**

Equação Chuvas de Intensas Padrão do Programa:

$$i = \frac{K * T^h}{(t + t_o)^f}$$

T = Tempo de Retorno t = tempo de concentração do trecho

Equação de intensas:

	t <= 60 min	t > 60 min
K	145,000	597,000
h	0,250	0,320
f	0,340	0,730
t <sub>o</sub>	-1,180	-3,000

Equação de Chuvas Intensas de FLORIANÓPOLIS para t <= 60 min

Equação de Chuvas Intensas de FLORIANÓPOLIS para t > 60 min

Parâmetros adotados no projeto:

Período de retorno	[anos]	T=	5
Coeficiente de rugosidade		n=	0,017
Coeficiente de Rugosidade da Sarjeta		ns=	0,017
Coeficiente de Rugosidade da Via		nv=	0,017

Figura 33 – Inserção de parâmetros de projeto e equação de chuvas intensas

Na sequência devem ser definidos os parâmetros e critérios limites de projeto, sendo que os mesmos já vêm com valores sugeridos, como visto na figura 34 abaixo.

Parâmetros e Critérios de projeto:			
Tempo de Entrada	[min]	T=	5
Limite de Velocidade na Sarjeta	[m/s]	v máx=	0,75
	[m/s]	v mín=	3,5
Limite de Velocidade na Galeria	[m/s]	v máx=	0,8
	[m/s]	v mín=	4
Limite Mínimo de Declividade da Galeria	[m/m]	l=	0,007
Limite de Recobrimento	[m]	hmin=	1
	[m]	hmax=	4

Figura 34 – Inserção de parâmetros e critérios limites de projeto (valores sugeridos)

### 5.4.4.2. Cálculo do Trecho

Abaixo está demonstrado um trecho qualquer, aqui representando pelo trecho 1-2. Para melhor compreensão dos cálculos relativos ao trecho, os mesmos estão divididos em etapas, as quais serão explicadas separadamente abaixo.

Primeiramente na parte superior de cada espaço reservado para o trecho está indicado a posição no diagrama unifilar em que o trecho está inserido, no caso abaixo na Linha 3 Coluna 1 (L3C1).

Esta primeira etapa de cálculo do trecho é chamada de “Informações sobre o nó”. Nela está indicado o número dos nós do trecho e o tipo dos nós, informações retiradas do diagrama unifilar. Nesta etapa é necessário inserir a cota do terreno (cota da superfície) do nó de montante e do nó de jusante do trecho, assim como a área de drenagem direta de cada nó. Também é necessário inserir o tempo de entrada do nó, assim como o coeficiente de deflúvio do trecho. A opção área de drenagem direta no contra fluxo somente será usada em casos de nó cego.

Linha 3			Linha 3 - Coluna 1		
Informações sobre o nó			1	----->	2
	Nº do Nó :		1	Nó =	2
Tipo de nó (Inicial ou Passagem)	(I,P)	nó=	I		P
Cota da Superfície	[m]	CT=	Insira Cota	CT=	Insira Cota
Área de Drenagem Direta	[Km <sup>2</sup> ]	A=	Zero	A=	Insira Area Dren.
Tempo de Entrada	[min]	T <sub>e</sub> =	--	Te=	Insira Te
Coeficiente de Deflúvio	-	C=	--	C=	Insira Coe. Deflúvio
Área de Drenagem Direta no Contra Fluxo	[Km <sup>2</sup> ]	A2=			

Figura 35 – Etapa de informações sobre o nó

Esta próxima etapa é chamada de “Informações sobre o trecho”. Nele é necessário inserir somente o comprimento do trecho, e através das cotas de superfície anteriormente inseridas o software calcula a declividade da superfície.

Informações sobre o trecho		
Comprimento do Trecho	[m]	L=
Declividade da superfície	[m/m]	I=

Figura 36 – Etapa informações sobre o trecho

Esta etapa é chamada de “Determinação da descarga de pico”. Nesta etapa não é necessário inserir dados, pois o tempo de

concentração do nó é calculado pelo tempo de entrada do nó ou tempo de concentração do nó anterior, somado ao tempo de percurso (da sarjeta ou galeria) que será calculado posteriormente. A intensidade de precipitação é calculada através da fórmula e parâmetros já inseridos (item 5.4.4.1) e pelo tempo de concentração. O produto  $C \times A$  é dado pelo produto entre o coeficiente de deflúvio e a área de contribuição.

Determinação da descarga de pico					
Tempo de concentração do nó	[min]	tc=	--	tc=	Esperando Dados
Intensidade de Precipitação	[mm/h]	i=	--	i=	Esperando Dados
Produto $C \times A$	-	$\Sigma C.A=$	--	$\Sigma C.A=$	Esperando Dados
Descarga de pico	[m <sup>3</sup> /s]	Qp=	--	Qp=	Esperando Dados

Figura 37 – Etapa determinação da descarga de pico

Esta etapa é chamada de “Verificação da necessidade de galeria”. Nesta etapa é necessário inserir a declividade transversal da sarjeta e da via, largura da sarjeta, tipo de via, largura da via e fator de redução da sarjeta, a fim de se obter como resultados finais a velocidade na sarjeta, a vazão admissível no trecho, o tipo de escoamento (sarjeta ou galeria) e o tempo de percurso na sarjeta, se esta não necessitar de galerias.

É importante ressaltar que o usuário pode tornar um trecho com escoamento em sarjeta em um trecho com escoamento em galeria, processo chamado de “trecho obrigatório”, visto no item 5.4.4.3.1. Para isso, no campo “Galeria?” da planilha, visto na figura 38 abaixo, deve ser escrito “Sim”, sendo que a célula em laranja funciona como auxílio, sempre calculando se o trecho deve ou não ter escoamento em galeria.

<b>Verificação da necessidade de galeria</b>			
Declividade Transversal da Sarjeta	[m/m]	z0=	z0= Insira Dados
Declividade Transversal da Via	[m/m]	z1=	z1= Insira Dados
Largura da sarjeta	[m]	W=	W= Insira Dados
Tipo de Via - Principal ou Secundária		P, S	P ou S= Insira Dados
Largura da Via	[m]	B=	B= Insira Dados
Lâmina d'água na extremidade da sarjeta	[m]	y1=	y1= Esperando Dados
Lâmina d'água admissível	[m]	y0=	y0= Esperando Dados
Transbordamento?		[S or N]=	[S or N]= Esperando Dados
	[m³/s]	Q1=	Q1= Esperando Dados
	[m³/s]	Q2=	Q2= Esperando Dados
	[m³/s]	Q3=	Q3= Esperando Dados
Vazão Total	[m³/s]	Q <sub>tot</sub> =	Q0= Esperando Dados
	[m²]	A1=	A1= Esperando Dados
	[m²]	A2=	A2= Esperando Dados
	[m²]	A3=	A3= Esperando Dados
Área de Seção da Sarjeta	[m²]	A <sub>s</sub> =	A0= Esperando Dados
Velocidade	[m/s]	V=	V= Esperando Dados
Limite de Velocidade?	[m/s]	vmin<v<vmáx=	vmin<v<vmáx= Esperando Dados
Fator de Redução		F.R.	F.R. Insira Dados
Vazão Admissível na Sarjeta		Qad sarjeta=	Qad sarjeta= Esperando Dados
Vazão Admissível no Trecho	[m³/s]	Qad trecho=	Qad trecho= Esperando Dados
Escoamento no trecho (Sarjeta ou Galeria)		Escoamento	Sarjeta
Verificação: Qadm > Qp			--
Precisa de galeria?	(sim ou não)	Galeria?	Não
Tempo de percurso na Sarjeta	[min]	tp=	tp= Esperando Dados

Figura 38 – Etapa verificação da necessidade de galeria

Se existir a necessidade de galeria a próxima etapa é validada, a qual é chamada de “Dimensionamento da galeria”. Nesta etapa o software calcula automaticamente a declividade da superfície e analisa se é necessário definir uma nova declividade para a galeria. Se for necessário, o usuário deve inserir a nova declividade da galeria no campo declividade da galeria (em vermelho), porém o usuário também pode modificar a declividade da galeria mesmo que não seja necessário, a fim de obter um menor valor para a velocidade de escoamento na mesma.

Nesta etapa o software também calcula o diâmetro nominal da galeria (diâmetro da galeria) e estipula o diâmetro comercial, e de acordo com os trechos anteriores verifica se este diâmetro deve ser aumentando. O tempo de percurso, a velocidade plena e o teste para verificar a velocidade na galeria são realizados também nesta etapa.

<b>Dimensionamento da galeria</b>			
Declividade da superfície	[m/m]	Isuper.=	Isuper.= --
Necessidade de definir declividade da galeria	(sim ou não)	Definir Gale.?	Definir Gale.?
Declividade da galeria	[m/m]	Igaleria=	Igaleria=
Diâmetro da galeria	[m]	Dcalc.=	Dcalc.= --
Diâmetro comercial	[mm]	Dcomercial=	Dcomercial=
Velocidade do escoamento	[m/s]	Vplena=	Vplena= --
Teste de velocidade (vmin < v < vmáx)	(alta ou baixa)	Teste	Teste --
Tempo de percurso na galeria	[min]	tp=	tp= --

Figura 39 – Etapa dimensionamento da galeria

A última etapa de cálculo do trecho é chamada de “Dimensionamento do poço de visita”. Nesta etapa o programa calcula o diâmetro da galeria do trecho (diâmetro da galeria afluente), assim como a cota da geratriz superior e inferior da galeria e o recobrimento da galeria. O software também calcula a cota de topo e fundo do poço de visita, assim como a profundidade do poço de visita.

Neste ponto o usuário pode modificar a cota da geratriz superior da galeria, modificando assim todos os outros parâmetros desta etapa menos o diâmetro da galeria. Quando o usuário modifica a cota da geratriz superior da galeria, a fórmula que estava contida naquela célula se perde, porém esta mesma fórmula está na célula em laranja, assim mesmo que o usuário mude os dados de entrada (cota da superfície, diâmetro da galeria, declividade da galeria, etc.) o resultado ainda será exposto na célula em laranja, fato constatado na figura 40.

Dimensionamento do poço de visita				--	
Diâmetro da galeria afluente	[m]	D=	--	D=	--
Cota da geratriz superior da galeria	[m]	CTga =	--	CTga =	--
Cota da geratriz inferior da galeria	[m]	CIga =	--	CIga =	--
Recobrimento da galeria	[m]	Recobrimento =	--	Recobrimento =	--
Cota de topo do PV	[m]	CTpv =	--	CTpv =	--
Cota de fundo do PV	[m]	CFpv =	--	CFpv =	--
Profundidade do PV	[m]	HpV =	--	HpV =	--

Figura 40 – Etapa dimensionamento do poço de visita

Após esta etapa o dimensionamento do trecho está finalizado, devendo o processo acima explicado ser aplicado a cada trecho do diagrama unifilar de montante para jusante.

#### 5.4.4.3. Condicionantes de Implantação

##### 5.4.4.3.1. Trecho Obrigatório

Se por algum motivo, seja estético, econômico ou funcional, o projetista pode optar por definir que o escoamento em um trecho aconteça através de galerias ao invés de sarjetas, mesmo que a vazão admissível na sarjeta não seja ultrapassada, há um recurso descrito a seguir.

Para isso, no campo “Galeria?” da planilha, visto na figura 41 abaixo, deve ser escrito “Sim”. Desse modo transforma-se um trecho com escoamento em sarjeta em um trecho com escoamento em galeria,

como consequência, todos os trechos posteriores ao trecho obrigatório terão o escoamento por realizado por galerias.

Qad sarjeta=	0,073	
Qad trecho=	0,145	
Escoamento	Galeria	
	Qadm>Qp	Trecho Obrigatório
Galeria?	Sim	Não
tp=	0,69	

Figura 41 – Trecho obrigatório

Na figura acima vemos que a planilha automaticamente identifica o trecho obrigatório inserido pelo usuário e o informa dessa condição. Importante ressaltar que a célula em vermelho pode ser alterada pelo usuário e que a célula em laranja somente recebe os cálculos do trecho, sendo que dessa forma, elas somente serão diferentes se o usuário alterar a célula em vermelho, como o exemplo da figura 41.

### 5.4.4.3.2. Interferências de Projeto

Durante a elaboração e/ou execução do projeto podem ser identificadas interferências que choquem com as galerias previamente projetadas, como dutos, caixas, cabos, outras galerias, etc., sejam dos sistemas de águas pluviais, águas frias e esgotos, energia elétrica, gás, telefonia, comunicações, entre outros. Para resolver estes problemas, o UFSC Urban Drainage aconselha a criação de um PV antes da interferência, a fim de possibilitar o rebaixamento da rede e permitir a passagem pela interferência, como visto na figura 42 abaixo.



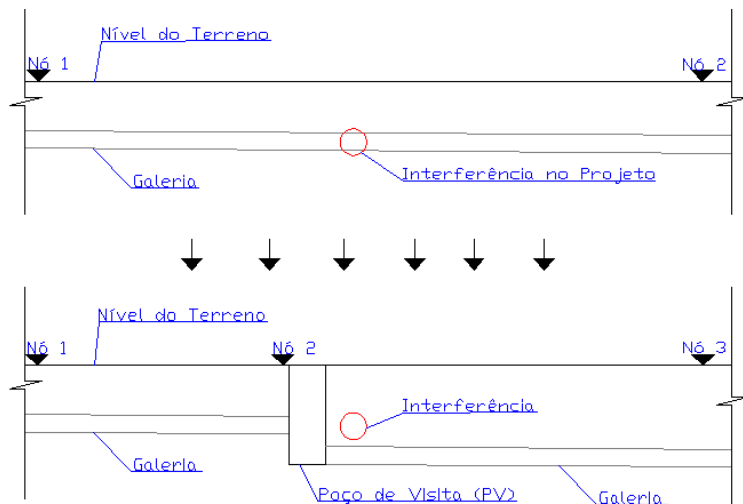


Figura 42 – Alternativa para interferências de projeto (vista em corte)

Analisando as questões de projeto, deve-se criar um novo nó antes da interferência, a fim de situar um PV exatamente no local do nó, procedimento visto na figura 43 abaixo.

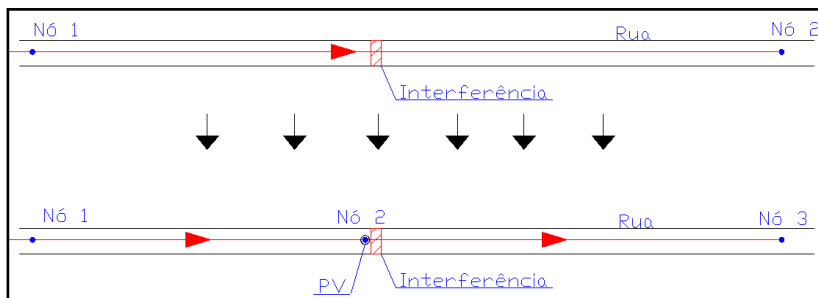


Figura 43 – Criação de um novo nó (vista em planta)

#### 5.4.4.4. Avisos

A planilha durante o cálculo dos trechos pode emitir alguns avisos, visando alertar o usuário sobre alguns problemas que podem estar ocorrendo.

#### 5.4.4.4.1. Velocidade na Sarjeta

Se a velocidade na sarjeta for muito baixa requererá manutenção constante, devido ao acúmulo de sedimentos. Por outra via, se a velocidade for muito elevada, existe o risco de acidentes aos pedestres. Dessa forma, para deixar o usuário ciente das situações citadas acima, a planilha apresenta os avisos abaixo:

V=	0,44	
vmín<v<vmáx=	Abaixo da Mínima	Manutenção Cte.
F.R.	0,56	
Qad sarjeta=	0,028	
Qad trecho=	0,057	
V=	4,00	
vmín<v<vmáx=	Acima da Máxima	Controlar Vel.
F.R.	0,585	
Qad sarjeta=	0,091	
Qad trecho=	0,181	

Figura 44 – Aviso de velocidade na sarjeta

#### 5.4.4.4.2. Declividade da Galeria

Os avisos ligados a declividade da galeria podem aparecer de duas formas distintas. A primeira acontece se a declividade da galeria for tão baixa a comprometer a execução da obra, desse modo a planilha lança o aviso, “Aumentar Igaleria”. A outra forma é relativa à velocidade do escoamento dentro da galeria, se esta for muito alta a planilha pede para diminuir a declividade da galeria e se esta for muito baixa, a planilha pede para aumentar a declividade da galeria.

Isuper.=	0,0135	
Definir Gale.?	Não	
Igaleria=	0,005	Aumentar Igaleria
Dcalc.=	0,796	
Vplena=	4,00	
Teste	Alta	Diminuir Igaleria
tp=	0,33	
Vplena=	0,65	
Teste	Baixa	Aumentar Igaleria
tp=	2,05	

Figura 45 – Aviso de declividade da galeria

#### 5.4.4.4.3. Cota Mínima de Topo da Galeria

A cota da galeria a jusante não pode ser superior a cota da galeria a montante, dessa forma se isto ocorrer, o aviso abaixo aparecerá.

CTga la calculada=	29,91		CTga la calculada=	29,59	
1000	D=	1000	1100	D=	1100
29,91	CTga =	29,59	30,00	<--- ERRO	29,76
28,91	Ciga =	28,59	28,90	Ciga =	28,66

Figura 46 – Aviso de cota mínima de topo da galeria

#### 5.4.4.4.4. Recobrimento Mínimo

A forma de controlar o recobrimento da galeria tanto no nó a montante quanto no nó a jusante de um trecho qualquer na planilha automatizada, acontece através da manipulação dos dados da cota de topo da galeria de montante e da declividade da galeria no trecho, dessa forma se o aviso abaixo de recobrimento mínimo aparecer, o usuário deve analisar esses parâmetros.

CTga la calculada=	30,31	Faixa Rec. Mínimo
800	D=	800
32,55	<--- ERRO	32,15
31,75	Ciga =	31,35
0,91	Recobrimento =	0,23

Figura 47 – Aviso recobrimento mínimo

### 5.5. Aplicação do software

Nos exemplos abaixo serão mostrados pedaços da planilha automatizada que são utilizadas para o dimensionamento, sendo assim, por exemplo, se um trecho não possuir galeria, não será mostrado o dimensionamento da galeria.

#### 5.5.1. Exemplo 1 (Trecho com galeria)

Primeiramente se construiu o diagrama unifilar, através dos conceitos apresentados no item 5.4.1 e 5.4.2, em plataforma CAD.

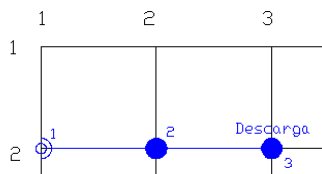


Figura 48 – Diagrama Unifilar

Posteriormente o mesmo diagrama unifilar mostrado na figura 48 acima é mostrado na figura 49 abaixo, porém escrito em uma linguagem que o Excel o compreenda, sendo assim chamado de diagrama unifilar no Excel.

Linhas / Colunas	1		2		3	
1						
Nós do Trecho						
2	i		p		d	
Nós do Trecho	1	2	2	3	3	

Figura 49 – Diagrama unifilar no Excel

Nesta etapa ocorreu a definição de parâmetros e da equação de chuvas intensas, como mostrado abaixo na figura 50.

**Dados do Projeto:**

Equação Chuvas de Intensas Padrão do Programa:

$$i = \frac{K * T^h}{(t + t_o)^f}$$

T = Tempo de Retorno t = tempo de concentração do trecho

Equação de intensas:

	t <= 60 min	t > 60 min
K	145,000	597,000
h	0,250	0,320
f	0,340	0,730
t <sub>o</sub>	-1,180	-3,000

Equação de Chuvas Intensas de FLORIANÓPOLIS para t <= 60 min

Equação de Chuvas Intensas de FLORIANÓPOLIS para t > 60 min

Parâmetros adotados no projeto:

Período de retorno	[anos]	T=	10
Coefficiente de rugosidade		n=	0,017
Coefficiente de Rugosidade da Sarjeta		ns=	0,017
Coefficiente de Rugosidade da Via		nv=	0,017

Figura 50 – Definição de parâmetros e da equação de chuvas intensas

Na sequência foram definidos os parâmetros e critérios de projeto, sendo acatados os valores sugeridos pela planilha, como visto na figura 51 abaixo:

Parâmetros e Critérios de projeto:			
Tempo de Entrada	[min]	T=	5
Limite de Velocidade na Sarjeta	[m/s]	v máx=	0,75
	[m/s]	v mín=	3,5
Limite de Velocidade na Galeria	[m/s]	v máx=	0,8
	[m/s]	v mín=	4
Limite Mínimo de Declividade da Galeria	[m/m]	l=	0,007
Limite de Recobrimento	[m]	hmin=	1
	[m]	hmax=	4

Figura 51 – Definição dos limites de parâmetros e critérios de projeto

O próximo passo foi dimensionar cada trecho através da planilha automatiza, procedimento mostrado e explicado nas figuras abaixo.

Trecho 1-2: Este trecho mostra o cálculo de um nó inicial 1 para o nó de passagem 2.

Linha 2 - Coluna 1		
1	----->	2
I	Nó =	P
15	CT=	14,5
Zero	A=	0,0121
--	Te=	5
--	C=	0,7

Figura 52 – Trecho 1-2

Trecho 2-3: Este trecho mostra o cálculo de um nó de passagem 2 para outro nó de passagem, o nó 3. Note que no nó 2 já existe a necessidade de galeria, e esta foi dimensionada. Note também que a cota da geratriz superior da galeria no nó 2 foi modificada, a fim de respeitar o limite mínimo de recobrimento quando a galeria chega ao nó 3.



Figura 53 – Trecho 2-3

Esta etapa mostra a descarga final do sistema proposto, em  $\text{m}^3/\text{s}$ , assim como exibe o dimensionamento final da galeria e do poço de visita, em metros.

Linha 2 - Coluna 3		
3	Descarga	--
D	Nó =	--
13,8	CT =	--
0,065	A =	--
--	Te =	--
0,7	C =	--
L =	--	--
I =	--	--
5,92	to =	--
151,95	i =	--
0,053970	ΣC.A =	--
2,278	Qp =	--

Isuper. =	--	--
Definir Gale.?	--	--
Igaleria =	--	--
Dcalc. =	--	--
Dcomercial =	--	--
Vplena =	--	--
Teste	--	--
tp =	--	--
600	D =	--
12,76	CTga =	--
12,16	Clga =	--
1,04	Recobrimento =	--
13,80	CTpv =	--
12,06	CFpv =	--
1,74	Hpv =	--

Figura 54 – Descarga

Resultados: Como última etapa, a planilha cria uma tabela de resultados, como vista abaixo.

							Nó Montante					Nó Jusante				
Nó	Trecho	Escoamento	Iterreno (m/m)	Igaleria (m/m)	L (m)	Dcomercial(m)	CTgal. (m)	Clgal. (m)	Recobrimento Gal. (m)	CTpv (m)	Ovp (m)	Profundidade Pv. (m)	CTgal. (m)	Clgal. (m)	Recobrimento Gal. (m)	
2	2	3	Galeria	0,00875	0,008	80	600	13,4	12,8	1,1	14,5	12,7	1,8	12,76	12,16	1,04
3	3	--	--	--	--	--	600	12,76	12,16	1,04	13,8	12,06	1,74	--	--	--

Figura 55 – Tabela com resultados construtivos

### 5.5.2. Exemplo 2 (Trecho sem galeria)

Primeiramente se construiu o diagrama unifilar, através dos conceitos apresentados no item 5.4.1 e 5.4.2, em plataforma CAD.

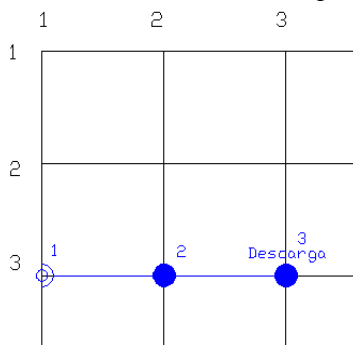


Figura 56 – Diagrama unifilar

Posteriormente o mesmo diagrama unifilar mostrado na figura 56 acima é mostrado na figura 57 abaixo, porém escrito em uma linguagem que o Excel o compreenda, sendo assim chamado de diagrama unifilar no Excel.

Linhas / Colunas	1		2		3	
1						
Nós do Trecho						
2						
Nós do Trecho						
3	i		p		d	
Nós do Trecho	1	2	2	3	3	

Figura 57 – Diagrama unifilar no Excel

Nesta etapa ocorreu a definição de parâmetros e da equação de chuvas intensas, como mostrado abaixo na figura 58.

**Dados do Projeto:**

Equação Chuvas de Intensas Padrão do Programa:

$$i = \frac{K * T^h}{(t + t_o)^f}$$

T = Tempo de Retorno t = tempo de concentração do trecho

Equação de intensas:

	t <= 60 min	t > 60 min
K	145,000	597,000
h	0,250	0,320
f	0,340	0,730
t <sub>o</sub>	-1,180	-3,000

Equação de Chuvas Intensas de FLORIANÓPOLIS para t <= 60 min

Equação de Chuvas Intensas de FLORIANÓPOLIS para t > 60 min

Parâmetros adotados no projeto:

Período de retorno	[anos]	T=	5
Coefficiente de rugosidade		n=	0,017
Coefficiente de Rugosidade da Sarjeta		ns=	0,017
Coefficiente de Rugosidade da Via		nv=	0,017

Figura 58 – Definição de parâmetros e da equação de chuvas intensas

Na sequência foram definidos os parâmetros e critérios de projeto, sendo acatados os valores sugeridos pela planilha, como visto na figura 59 abaixo



Parâmetros e Critérios de projeto:			
Tempo de Entrada	[min]	T=	5
Limite de Velocidade na Sarjeta	[m/s]	v máx=	0,75
	[m/s]	v mín=	3,5
Limite de Velocidade na Galeria	[m/s]	v máx=	0,8
	[m/s]	v mín=	4
Limite Mínimo de Declividade da Galeria	[m/m]	l=	0,007
Limite de Recobrimento	[m]	hmin=	1
	[m]	hmax=	4

Figura 59 - Definição dos limites de parâmetros e critérios de projeto

O próximo passo foi dimensionar cada trecho através da planilha automatizada, procedimento mostrado e explicado nas figuras abaixo.

Trecho 1-2: Este trecho mostra o cálculo de um nó inicial para o nó de passagem.

Linha 3 - Coluna 1		
1	----->	2
I	Nó =	P
43,7	CT=	42,8
Zero	A=	0,004
--	Te=	5
--	C=	0,7
L=	60	
l=	0,015	
--	tc =	5,00
--	iz =	137,47
--	$\sum C.A =$	0,002800
--	Qp=	0,107

Figura 60 – Trecho 1-2

Trecho 2-3: Este trecho mostra o cálculo de um nó de passagem 2 para nó de passagem 3. Note que no nó 2 não existe a necessidade de galeria, dessa forma esta não foi dimensionada.

Linha 3 - Coluna 2		
2	----->	3
P	Nó =	P
42,8	CT=	41,5
0,004	A=	0,005
5	Te=	--
0,7	C=	0,7
L=	80	
I=	0,01625	
5,00	to =	6,58
137,47	ie =	122,20
0,002800	ΣC.A=	0,006300
0,107	Qp=	0,214

z0=	50	
z1=	70	
Vz=	0,6	
Pou S=	S	
B=	8	
y1=	0,049	
y0=	0,061	
[S ou N]=	N	
Q1=	0,080	
Q2=	0,044	
Q3=	0,062	
Q0=	0,097	
A1=	0,091722449	
A2=	0,058979592	
A3=	0,082571429	
A0=	0,115314286	
V=	0,84	
vmín<v<vmá=	Dentro do Limite	
F.R.	0,8	
Qad sarjeta=	0,078	
Qad trecho=	0,156	
Escoamento	Sarjeta	
	Qadmo Qp	
Galeria?	Não	Não
tps	1,58	

Figura 61 – Trecho 2-3

Esta etapa mostra a descarga final do sistema proposto, em m<sup>3</sup>. Como não existe galeria nesse sistema, não existe a necessidade da criação da tabela de resultados, a qual possuiria os parâmetros construtivos.

Linha 3 - Coluna 3		
3	<b>Descarga</b>	--
D	Nó =	--
41,5	CT=	--
0,005	A=	--
--	Te=	--
0,7	C=	--
L=	--	
I=	--	
6,58	to =	--
122,20	ie =	--
0,006300	ΣC.A=	--
0,214	Qp=	--

Figura 62 – Descarga

### 5.5.3. Exemplo 3 (Trecho com galeria, três trechos convergindo para em um nó)

Na figura 63 abaixo temos um recorte de um diagrama unifilar em plataforma CAD de um loteamento qualquer. Vamos utilizá-lo para analisar como o **nó 2** se comporta, uma vez que este recebe contribuição dos nós **3**, **1** e **4**. Como a idéia aqui é analisar apenas o nó 2 pontualmente, não será analisado o trecho 6-3 e o trecho 2-5 (relativo à descarga).

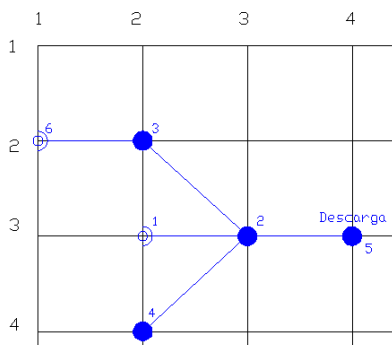


Figura 63 – Diagrama Unifilar

Posteriormente o mesmo diagrama unifilar mostrado na figura 63 acima é mostrado na figura 64 abaixo, porém escrito em uma linguagem que o Excel o compreenda, sendo assim chamado de diagrama unifilar no Excel.

Linhas / Colunas	1	2	3	4
1				
Nós do Trecho				
2	i	p		
Nós do Trecho	6	3	3	2
3		i	p	d
Nós do Trecho		1	2	2
4		i		
Nós do Trecho		4	2	

Figura 64 - Diagrama Unifilar no Excel

Nesta etapa ocorreu a definição de parâmetros e da equação de chuvas intensas, como mostrado abaixo na figura 65.

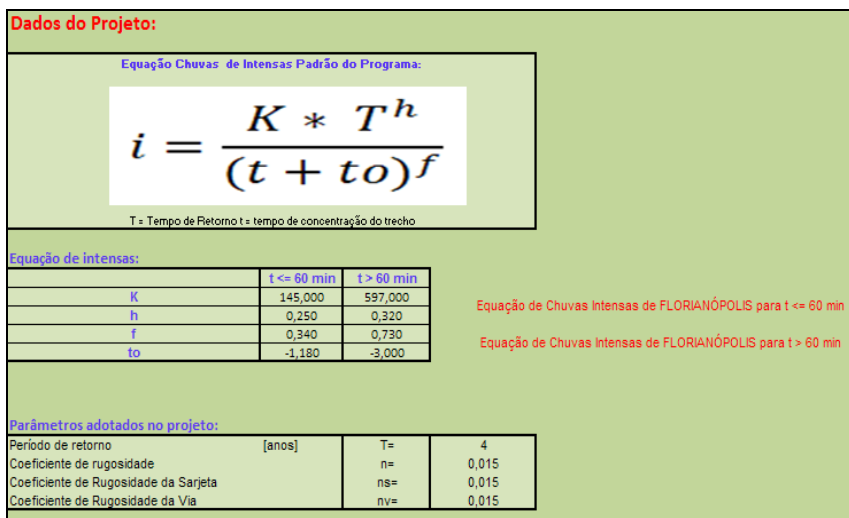


Figura 65 - Definição de parâmetros e da equação de chuvas intensas

Na sequência foram definidos os parâmetros e critérios de projeto, sendo acatados os valores sugeridos pela planilha, como visto na figura 66 abaixo.

Parâmetros e Critérios de projeto:			
Tempo de Entrada	[min]	T=	5
Limite de Velocidade na Sarjeta	[m/s]	v máx=	0,75
	[m/s]	v mín=	3,5
Limite de Velocidade na Galeria	[m/s]	v máx=	0,8
	[m/s]	v mín=	4
Limite Mínimo de Declividade da Galeria	[m/m]	l=	0,007
Limite de Recobrimento	[m]	hmin=	1
	[m]	hmax=	4

Figura 66 - Definição dos limites de parâmetros e critérios de projeto

Vamos analisar agora os trechos que convergem para o nó 2, sendo estes: 3-2; 1-2; 4-2.

Trecho 3-2: Este trecho mostra o cálculo do nó de passagem 3, o qual já recebeu contribuição do trecho 5-3, para o nó de passagem 2, formando o trecho 3-2.

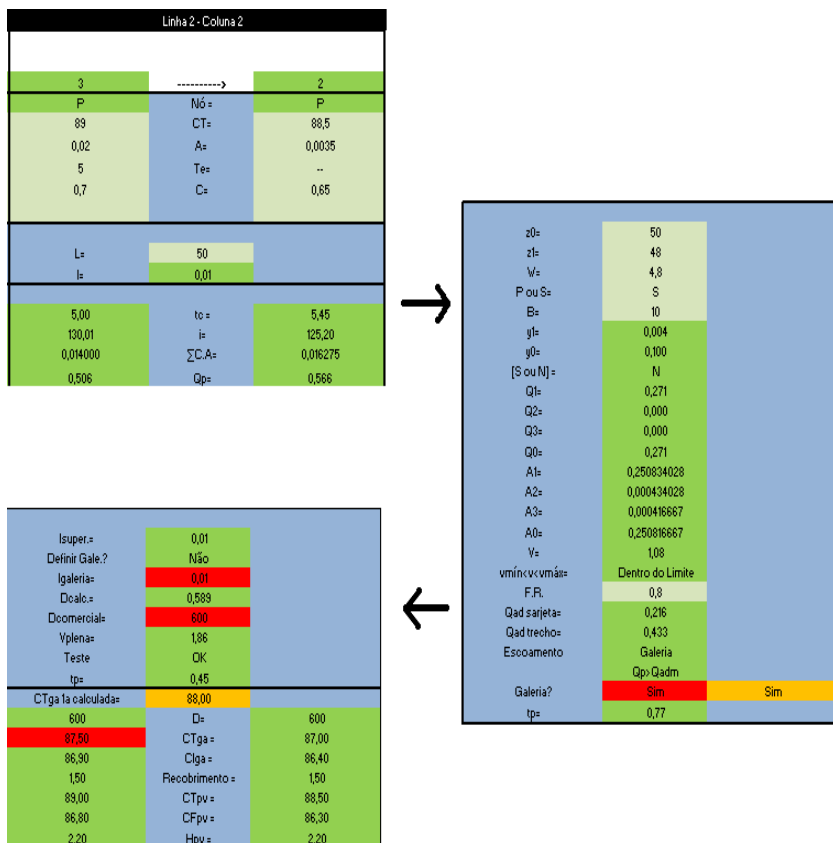


Figura 67 – Trecho 3-2

Trecho 1-2: Este trecho mostra o cálculo de um nó inicial 1 para o nó de passagem 2, formando dessa forma o trecho 1-2.

Linha 3 - Coluna 2		
1	----->	2
I	Nó =	P
89,2	CT=	88,5
Zero	A=	0,007
--	Te=	5
--	C=	0,8
L=	57	
I=	0,012280702	
--	tc =	5,00
--	ic =	130,01
--	$\Sigma C.A=$	0,005600
--	Qp=	0,202

Figura 68 – Trecho 1-2

Trecho 4-2: Este trecho mostra o cálculo de um nó inicial 4 para o nó de passagem 2, formando dessa forma o trecho 4-2.

Linha 4 - Coluna 2		
4	----->	2
I	Nó =	P
91	CT=	88,5
Zero	A=	0,009
--	Te=	8
--	C=	0,65
L=	65	
I=	0,038461538	
--	tc =	8,00
--	ic =	106,76
--	$\Sigma C.A=$	0,005850
--	Qp=	0,173

Figura 69 – Trecho 4-2

Abaixo está identificado o nó 2, o qual recebe a contribuição dos trechos 1-2, 3-2 e 4-2.

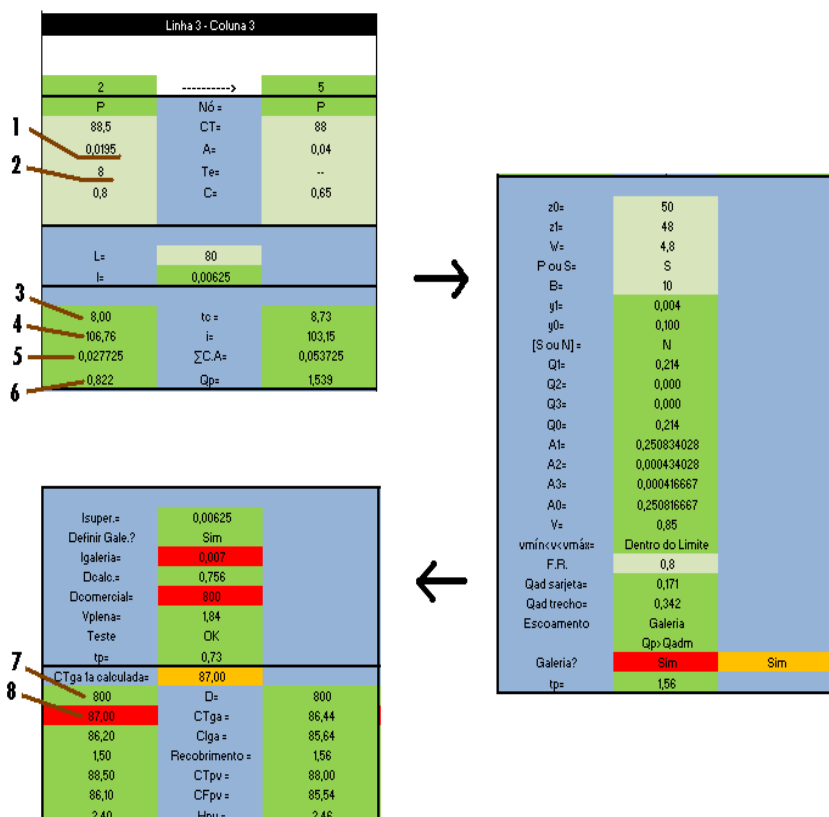


Figura 70 – Análise do nó 2

Agora vamos analisar o comportamento de cada uma das partes numeradas acima no nó 2:

- 1) Área de Drenagem: a área que aparece neste campo é a soma de todas as áreas drenadas diretas dos nós anteriores, ou seja, do nó 1, 3 e 4 ( $0,007 + 0,0035 + 0,009 = 0,0195$ ).
- 2) Tempo de Entrada: a planilha analisa o tempo de entrada dos nós anteriores (1, 3 e 4) e recebe como informação aquele que for o maior (8, -, 5 = 8).
- 3) Tempo de Concentração: a planilha analisa o tempo de entrada dos nós anteriores (1, 3 e 4) e recebe como informação aquele que for o maior (8; 5,45; 5 = 8).

- 4) Intensidade de Precipitação: a planilha analisa as Intensidades de Precipitação dos nós anteriores (1, 3 e 4) e recebe como informação aquele que for o menor (106,76; 130,01; 125,20 = 106,76)
- 5) Somatório CxA: a planilha recebe o somatório do coeficiente de deflúvio multiplicado pela área de drenagem direta dos nós que convergem para ele. Sendo assim este campo recebe a soma do coeficiente de deflúvio multiplicado pela área do trecho 1-2, 3-2 e 4-2. ( $0,0056 + 0,016275 + 0,00585 = 0,027725$ )
- 6) Descarga de Pico: a descarga de pico depende do item 4 e 5 acima citados, dessa forma a descarga de pico é calculada em função dos valores recebidos dos trechos 1-2, 3-2 e 4-2.
- 7) Diâmetro da Galeria: a planilha automaticamente analisa se o diâmetro da galeria (se houver) do trecho 1-2, 3-2 ou 4-2 é maior do que a do calculado para o trecho (se houver), a fim de receber o maior valor calculado para o diâmetro da galeria.
- 8) Cota de Topo da Galeria: a planilha automaticamente analisa se a cota de topo da galeria (se houver) do trecho 1-2, 3-2 ou 4-2 é menor do que a do calculado para o trecho (se houver), a fim de receber o menor valor calculado para a cota de topo da galeria.

#### 5.5.4. Exemplo 4 (Trecho com nó cego)

Agora vamos analisar um caso particular, o nó cego, o qual pode ser visto na planta abaixo como o nó 8.

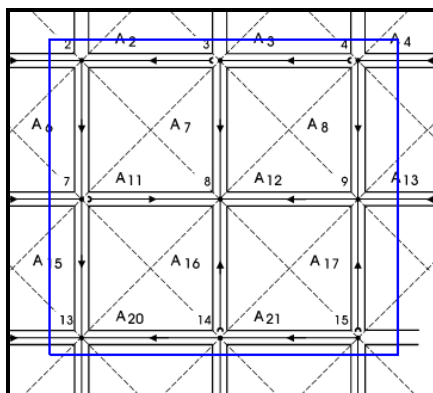


Figura 71 – Planta baixa com nó cego



Perceba que as áreas 11, 7, 12 e **16** escoarão para o nó 8, para posteriormente escoarem pelo trecho 8-14.

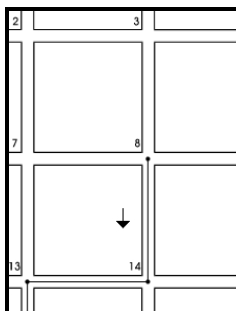


Figura 72 – Rota de saída do nó cego

A situação acima exemplificada na figura 72 é mostrada abaixo na figura 73 em forma de diagrama unifilar em CAD e no Excel.

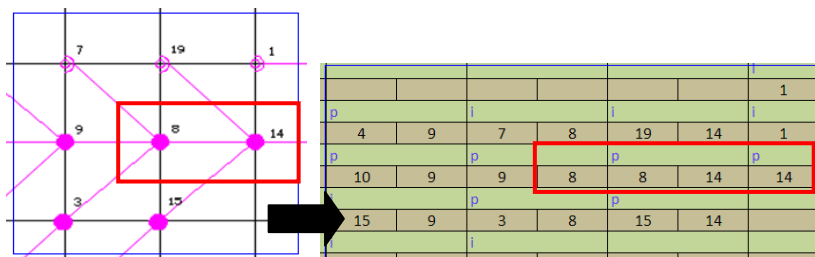


Figura 73 – Diagrama unifilar CAD/Excel

Abaixo está exemplificada a solução encontrada pela planilha para a situação de um nó cego. Note que a cota de superfície do nó 14 é maior que a cota de superfície do nó 8, dessa forma a planilha automaticamente compreende a existência de um nó cego e cria uma nova área, ilustrada na figura 74 abaixo pela letra “a”. Esta nova área ilustrada pela letra “a” refere-se à área 16 da figura 71, mostrando que ela também escoará para o nó 8 e não para o nó 14. Também se deve notar que não é permitido que o nó 14 drene qualquer água pluvial neste

trecho 8-14 ou 14-8, sendo atribuído o valor “0” para a área de drenagem do nó 14, como visto na figura 74.

Linha 4 - Coluna 4		
8	←-----	14
P	Nó =	P
32,85	CT=	33,46
0,01215	A=	0
10	Te=	--
0,6	C=	0
a) 0,00405	AREA 2 =	
L=	80	
I=	-0,007625	
11,45	tc =	12,19
92,88	i=	90,71
0,024300	ΣC.A=	0,024300
0,627	Qp=	0,612

Figura 74 – Nova área de drenagem (situação de nó cego)

Neste mesmo trecho, deve-se dimensionar a galeria, passo que está exemplificado abaixo na figura 76. Para isso é necessário atribuir uma declividade para a galeria, uma vez que ela será contrária à declividade da rua, conforme exemplificado na figura 75 abaixo. Os outros procedimentos mostrados na figura 76 são iguais aos já exemplificados e citados anteriormente.

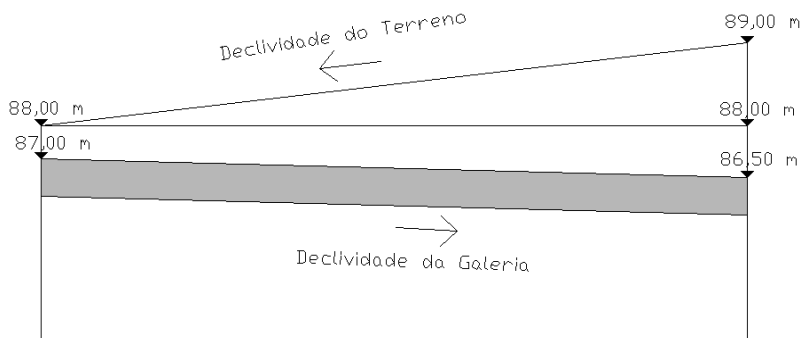


Figura 75 – Situação de nó cego

Isuper. =	-0,007625	
Definir Gale.?	Sim	
Igaleria =	0,008	
Dcalo. =	0,666	
Dcomercial =	700	
Vplen. =	1,81	
Teste	OK	
tp =	0,74	
CTga 1a calculada =	31,85	
700	D =	700
30,95	CTga =	30,31
30,25	Clga =	29,61
1,90	Recobrimento =	3,15
32,85	CTpv =	33,46
30,15	CFpv =	29,51
2,70	Hpv =	3,95

Figura 76 – Dimensionamento da galeria e poço de visita

## 5.6. Resultados Obtidos pelo Software

### 5.6.1. Projeto Exemplo

O primeiro passo é obter uma planta da área a ser analisada, com as curvas de nível e o traçado das ruas. Com essas informações se obtêm o nível da rua nos nós que serão utilizados no diagrama unifilar, como visto na figura 77 abaixo.

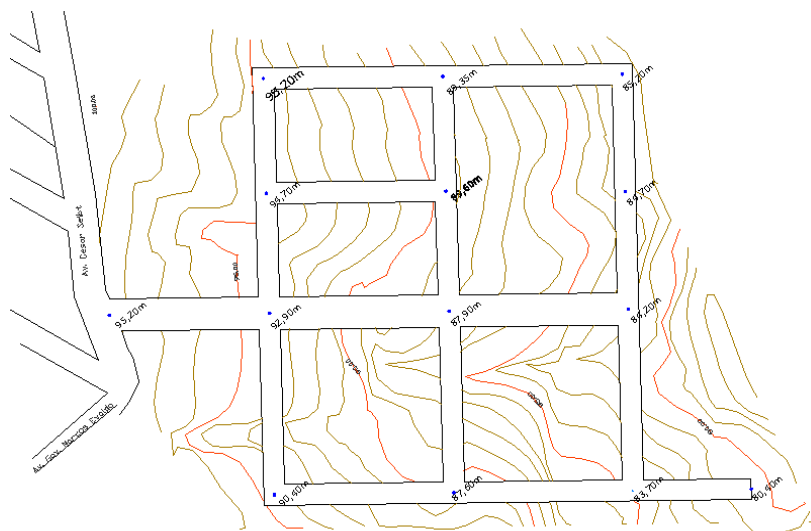


Figura 77 – Planta Seca

Posteriormente são desenhadas e numeradas as áreas de contribuição e os nós, além de indicar o sentido do escoamento, como visto na figura 78 abaixo.

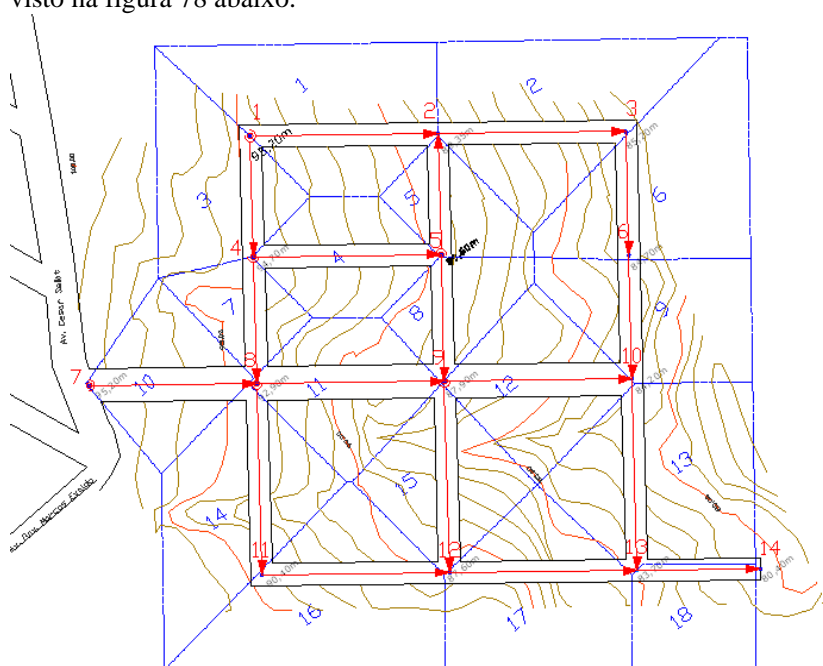


Figura 78 - Planta área contribuição, nós e sentido do escoamento

Com os nós e os sentidos do escoamento definidos, cria-se o Diagrama Unifilar na grade disponível em plataforma CAD, como visto na figura 79 abaixo.

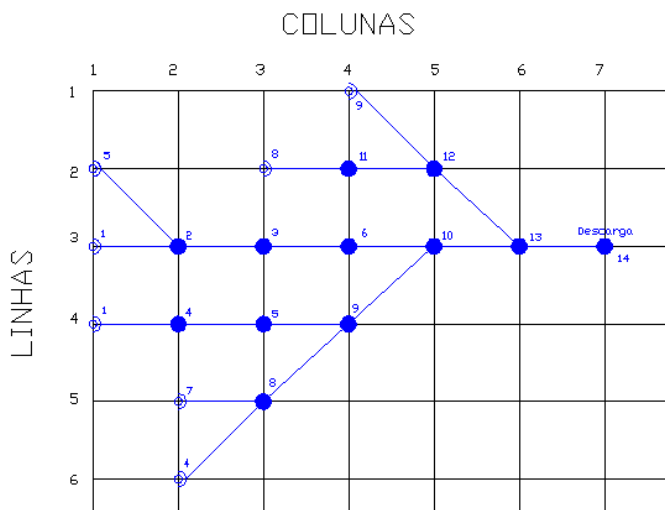


Figura 79 - Diagrama Unifilar

Após a criação do Diagrama Unifilar, cria-se o Diagrama Unifilar no Excel, a fim de que a planilha entenda e monte os trechos de cálculo.

Linhas / Colunas	1	2	3	4	5	6	7
1				1			
Nós do Trecho				9	12		
2	1		1	12	13		
Nós do Trecho	5	2	8	11	12	13	
3	1	1	1	1	1	1	1
Nós do Trecho	1	2	2	3	3	6	6
4	1	4	4	5	9	9	10
Nós do Trecho	1	4	4	5	9	9	10
5		1	1	1			
Nós do Trecho		7	8	8	9		
6							
Nós do Trecho		4	8				

Figura 80 - Diagrama Unifilar no Excel

Com os trechos de cálculo montados pela planilha, através da inserção do diagrama unifilar no Excel, são inseridos os dados requisitados e analisados os resultados, aplicando assim o Software em todos os trechos. Como resultado final, obtém-se a Tabela de Resultados com os parâmetros construtivos, a qual pode ser vista na figura 81 abaixo.

						Nó Montante					Nó Jusante		
Nó	Trecho	Escoamento	Invenio (m/m)	lgaleria (m/m)	L (m)	Dcomercial (mm)	CTgal. (m)	Clgal. (m)	Recobrimento Gal. (m)	CTpv (m)	Clpv (m)	Profundidade Pv. (m)	CTgal. (m)
11	12	Sarjeta	--	--	68	--	--	--	--	--	--	--	--
12	13	Sarjeta	--	--	68	--	--	--	--	--	--	--	--
2	2	3	Sarjeta	--	--	68	--	--	--	--	--	--	--
3	3	6	Sarjeta	--	--	44	--	--	--	--	--	--	--
6	6	10	Galeria	0,011363636	0,018	44	400	82,2	81,8	2,5	84,7	81,7	3
10	10	13	Galeria	0,007352941	0,0074	68	600	81,408	80,808	2,792	84,2	80,708	3,492
13	13	14	Galeria	0,075	0,035	44	600	80,9048	80,3048	2,7952	83,7	80,2048	3,4952
14	14	--	--	--	--	600	79,3648	78,7648	1,0352	80,4	78,6648	1,7352	--
4	4	5	Sarjeta	--	--	68	--	--	--	--	--	--	--
5	5	9	Sarjeta	--	--	44	--	--	--	--	--	--	--
9	9	10	Sarjeta	--	--	68	--	--	--	--	--	--	--
8	8	9	Sarjeta	--	--	68	--	--	--	--	--	--	--

Figura 81 – Tabela de Resultados com Parâmetros Construtivos

## 5.6.2. Projeto Exemplo 2

O primeiro passo é obter uma planta da área a ser analisada, com as curvas de nível e o traçado das ruas. Com essas informações se obtêm o nível da rua nos nós que serão utilizados no diagrama unifilar, como visto na figura 82 abaixo.

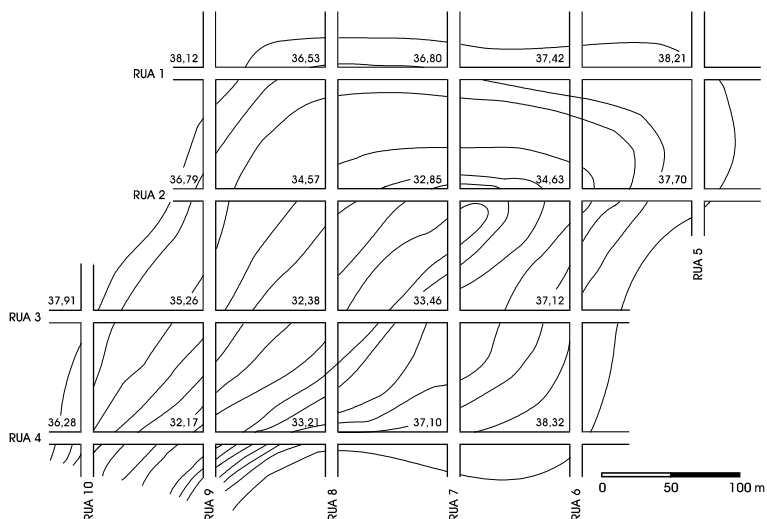


Figura 82 - Planta Seca

Posteriormente são desenhadas e numeradas as áreas de contribuição e os nós, além de indicar o sentido do escoamento, como visto na figura 83 abaixo.

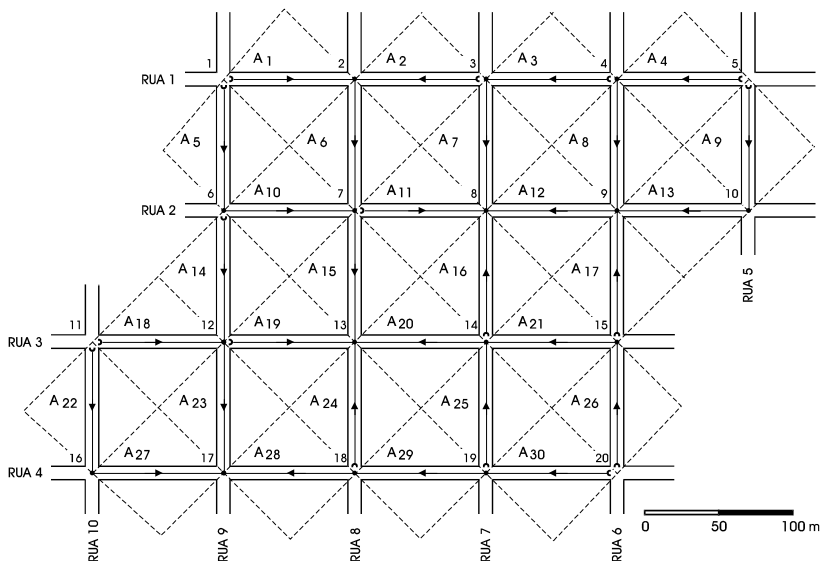


Figura 83 - Planta área contribuição, nós e sentido do escoamento

Com os nós e os sentidos do escoamento definidos, cria-se o Diagrama Unifilar na grade disponível em plataforma CAD, como visto na figura 84 abaixo.

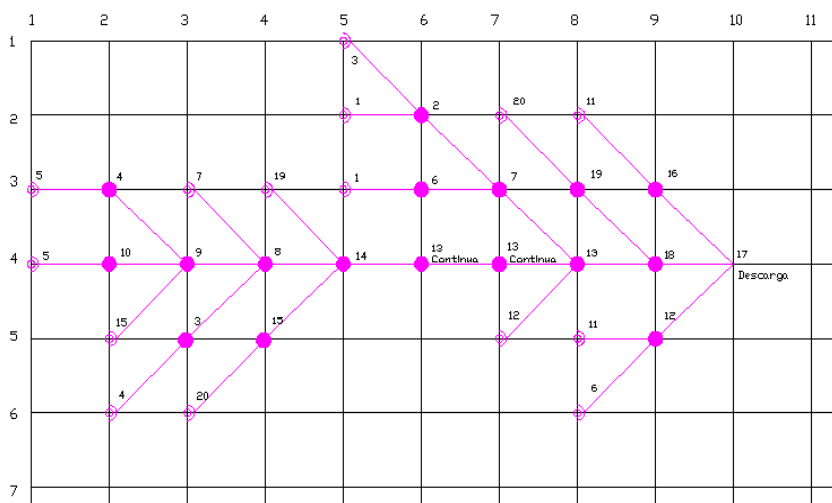


Figura 84 - Diagrama Unifilar

Após a criação do Diagrama Unifilar, insere-se o Diagrama Unifilar no Excel, a fim de que a planilha entenda e monte os trechos de cálculo.

Linhas / Colunas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
Nós do Trecho					3	2				
2						p				
Nós do Trecho					1	2	2	7	20	19
3		p				p		p		
Nós do Trecho	5	4	4	9	7	8	19	14	1	6
4		p		p		p		c		c
Nós do Trecho	5	10	10	9	9	8	8	14	14	13
5				p						
Nós do Trecho			15	9	3	8	15	14		
6										
Nós do Trecho			4	3	20	15				

Figura 85 - Diagrama Unifilar no Excel

Com os trechos de cálculo montados pela planilha, através da inserção do diagrama unifilar no Excel, são inseridos os dados requisitados e analisados os resultados, aplicando assim o Software em todos os trechos. Como resultado final, obtém-se a Tabela de Resultados com os parâmetros construtivos, a qual pode ser vista na figura 86 abaixo.

Nº	Trecho	Escamento	Nó Montante				Nó Istante			
			Reverso (m/m)	Galeria (m/m)	L (m)	Diagonal (mm)	CTgal. (m)	Clgal. (m)	Recobrimento Gal. (m)	CTpu (m)
2	2 7	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--
4	4 9	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--
6	6 7	Sarjeta	--	--	--	--	--	--	--	--
7	7 13	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--
19	19 18	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--
16	16 17	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--
10	10 9	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--
9	9 8	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--
8	8 14	Galeria	-0,007625	0,007	80	700	31,85	31,15	1	32,85
14	14 13	Galeria	0,0135	0,007	80	800	31,29	30,49	2,17	33,46
13	13 18	Galeria	-0,010375	0,007	80	1000	30,73	29,73	1,65	32,38
18	18 17	Galeria	0,013	0,007	80	1000	30,17	29,17	3,04	33,21
17	--	--	--	--	--	1000	29,61	28,61	2,56	32,17
3	3 8	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--
15	15 14	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--
12	12 17	Sarjeta	--	--	80	--	--	--	--	--

Figura 86 – Tabela de Resultados com Parâmetros Construtivos

## 6. Conclusão

Como resultado deste trabalho obteve-se o desenvolvimento de um sistema de cálculo automatizado para o dimensionamento de sistemas de microdrenagem, com auxílio de planilhas eletrônicas, a qual possui um manual de utilização. Também foi desenvolvido um



construtor de diagrama unifilar, a fim de facilitar a construção de qualquer diagrama unifilar, o qual funciona como passo inicial de qualquer projeto a ser utilizado no software.

O software desenvolvido neste trabalho mostrou-se apto a realizar projetos em condições reais, uma vez que situações reais e didáticas de projeto foram inseridas no software e apresentam resultados praticamente idênticos aos resultados obtidos por cálculos manuais. Desse modo, a planilha mostrou-se um recurso útil a elaboração de projetos tanto para fins didáticos como para fins de projeto em situações reais.

Como forma de facilitação da compreensão e utilização da planilha foi desenvolvido um manual, com o objetivo de permitir a auto-aprendizagem do software e ser uma ferramenta para sanar possíveis dúvidas dos usuários. Este manual explica todos os elementos da planilha, mostra como utilizá-la e apresenta projetos já realizados com seu auxílio.

Este trabalho significa uma tentativa de facilitar a correta elaboração de projetos de microdrenagem entre a área técnica envolvida, sendo que esses projetos devem no mínimo envolver conceitos fundamentais da drenagem urbana, como o escoamento lento das águas pluviais, assim como conceitos hidrológicos, hidráulicos e de construção civil. Através do desenvolvimento da rotina de cálculo e do roteiro de projeto apresentados neste trabalho, existe uma facilitação na correta elaboração de projetos em microdrenagem, podendo assim atingir uma maior acessibilidade entre os projetistas. Com isso, busca-se advertir que projetos de microdrenagem devem possuir um embasamento técnico, dentro de conceitos e práticas relatadas na literatura, e não apenas serem tubos assentados para escoar a água de uma região o mais rápido possível, sem a realização de um estudo prévio.

A planilha automatizada desenvolvida possui algumas limitações, como a dependência da existência de uma equação de chuvas intensas para a região do projeto. Entretanto, essa limitação pode ser resolvida com a utilização de uma equação de chuvas intensas de outra região, a qual possui uma curva de intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação com comportamento semelhante à região do projeto. Outra limitação apresentada pelo UFSC Urban Drainage é que projetos que necessitem de outros elementos além de sarjetas e galerias, como bombas de recalque e reservatórios de águas de chuvas, não são contemplados pelo software.

Para próximos trabalhos é possível implementar a rotina de programação apresentada pelo software em outra linguagem de programação, como C++, a fim de melhorar sua interface, facilitar sua utilização e sua comunicação com o usuário.

Como resultado final alcançou-se um software para sistemas de microdrenagem, que se mostrou acessível e confiável em inúmeros testes realizados, o qual pode ser um utensílio importante para o correto entendimento das questões envolvidas em projetos de microdrenagem por estudantes e profissionais do ramo, assim como pode ser uma ferramenta valiosa para auxiliar na elaboração de projetos de microdrenagem, quando corretamente operada por um profissional competente.

### **Referências Bibliográficas**

BIDONE, F. R. A.; TUCCI, C. E. M. Microdrenagem. In: PORTO, R. L.; BARROS, M. T. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, 1995. Cap.3.

NELSON L. de S.P.; ANTONIO C.T. H.; MARTINS J.A. ; GOMIDE F. L. S. Hidrologia Básica. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda convenio com o MEC, 2003. 278 p.

POMPÊO, CESAR AUGUSTO. Notas de aula em Sistemas Urbanos de Microdrenagem. 2001.

RAMOS; C.L., et all. **Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo**. Fundação Cento Tecnológico de Hidráulica. Prefeitura do Município de São Paulo, 1999.

RIGHETTO, Antonio M. Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos: EESC/ USP, 1998. 840 p.

SIMÕES, G. F., et al. Projeto de Infra-Estrutura e Equipamentos Urbanos. Trabalho de Integralização Multidisciplinar II. Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

STUDART; T. M. de C. **Precipitação**. Disponível em: <<http://www.cearidus.ufc.br/graduacao.htm>>. Acesso em: 16 setembro 2010.

STUDART; T. M. de C. **Escoamento Superficial**. Disponível em: <<http://www.cearidus.ufc.br/graduacao.htm>>. Acesso em: 16 setembro 2010.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

TUCCI, Carlos E.M. Hidrologia ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: URFGS/ ABRH, 2007. 943 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. **Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2005. Vol. 6